த.பா.நி. (க.வெ.) வரிசை எண் — 310

பௌதிகம் - துணைப்பாடம்

[முதல் பகுதி]

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

எம். சற்குருமூர்த்தி, எம்.எஸ்ஸி.,

உதவிப் பேராசிரியர்,

இயல்பியல் துறை,

பெரியார் ஈ. வெ. ரா. கல்லூரி, திருச்சிராப்பள்ளி

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition–May, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 310

© Tamil Nadu Text Book Society

ANCILLARY PHYSICS (Part I)

M. SARGURUMOORTHY

Net Price Rs. 7–25

(No discount)

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of Books and Literature in regional languages at the University level, of Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare.'

Printed by

Nanbargal Achagam,
Madras-18.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி—உள்ளாட்சித்துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினேராண்டு கள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறை களில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண் டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப் பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'பௌதிகம்—துணைப்பாடம்' (முதல் பகுதி) என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 310ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 345 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங் களின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

பொது பௌதிகம்

1.	அலகுகளும் அளவைகளும்	...	1
2.	இயந்திரவியல்	...	14
3.	நிலைத்திரவவியல்	...	35
4.	பரப்பு இழுவிசை	...	47
5.	பாகியல்	...	75

வெப்பவியல்

1.	வெப்பநிலை அளவீடு	...	91
2.	திடப்பொருள்களின் பெருக்கம்	...	112
3.	திரவங்களின் பெருக்கம்	...	128
4.	வாயுக்களின் பெருக்கம்	...	145
5.	வெப்ப அளவியல்	...	160
6.	நிலை மாற்றம்	...	196
7.	இயக்கக் கொள்கை அல்லது இயக்கவியற் கொள்கை	...	217
8.	நிலைத் தொடர்ச்சி	...	230
9.	வாயுக்களைத் திரவமாக்குதல்	...	250
10.	மாறு வெப்பநிலை நிகழ்வுகளும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளும்	...	264
11.	வெப்ப இயக்கவியல்	...	281
	(i) முதலாம் விதி	...	281
	(ii) இரண்டாம் விதி	...	293
12.	வெப்பம் பரவுதல்	...	311
	(i) வெப்பக் கடத்தல்	...	311
	(ii) வெப்பச் சலனம்	...	322
	(iii) வெப்பக் கதிர்வீசல்	...	324

பக்கம்

ஒலியியல்

1. அறிமுகம் ... 343
2. முன்னேறு அலைகளும் நிலை அலைகளும் ... 347
3. இயல்பு அதிர்வு, திணிப்பு அதிர்வு, ஒத்திசைவு அதிர்வு, விம்மல்கள் ... 351
4. கம்பிகளின் அதிர்வு (சோனமீட்டர்) ... 356
5. காற்றில் ஒலியின் திசைவேகம் ... 371

வினாக்கள் ... 380

கலைச்சொற்கள் ... 389

பொது பௌதிகம்

1. அலகுகளும் அளவைகளும்

(Units and Measurements)

பௌதிகம் என்பது பொருட் பண்புகளையும் ஆற்றல்களையும் பற்றிய ஓர் அறிவியல். பொருட் பண்புகளையும் ஆற்றல்களையும் அளவிட்டறிய நுட்பமான அளவீடுகள் இன்றியமையாதவை. இதன்வழி பௌதிகத்தை நுட்ப அளவீட்டு அறிவியல் எனவும் கூறுவர்.

அலகுகள் இரண்டு வகைப்படும். 1. அடிப்படை அலகுகள்; 2. வழி அலகுகள்.

1. அடிப்படை அலகுகள்

நீளம் (L), நிறை (M), காலம் (T) ஆகிய இம் மூன்றும் எல்லா பௌதிக அளவைகளுக்கும் அடிப்படையாக இருப்பதால் இவைகளுக்கு அடிப்படை அலகுகள் (Fundamental Units) என்று பெயர்.

2. வழி அலகுகள்

மேற்கூறிய அடிப்படை அலகுகளைக் கொண்டு எல்லா அளவைகளையும் அளந்துவிடலாம். இவ்வாறு அடிப்படை அலகுகளிலிருந்து தருவிக்கப்படுபவை வழி அலகுகள் (Derived Units) எனப்படும்.

எடுத்துக்காட்டாக

பரப்பளவு, வேகம், முடுக்கம், அடர்த்தி முதலியன வழி அலகுகளைச் சார்ந்தனவாகும்.

$$\text{பரப்பளவு} = \text{நீளம்} \times \text{அகலம்} = L\times L = L^2$$

$$\text{வேகம்} = \frac{\text{தொலைவு}}{\text{காலம்}} \quad \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

$$\text{முடுக்கம்} = \frac{\text{திசை வேகங்களின் மாறுபாடு}}{\text{காலம்}} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$$

$$\text{அடர்த்தி} = \frac{\text{நிறை}}{\text{கன அளவு}} = \frac{M}{L^3} = ML^{-3}$$

அளவைகள் *C. G. S.* முறையென்றும், *M. K. S.* முறையென்றும் இருவகைப்படும். *C. G. S.* முறையில் சென்டிமீட்டர், கிராம், விநாடி முதலியன முறையே நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றை அளவிட பயன்படும் அலகுகளாகும். ஒரு சென்டிமீட்டர் என்பது மீட்டர் என்ற ஒரு குறிப்பிட்ட நீளத்தில் நூறில் ஒரு பகுதியாகும். மீட்டர் என்பது பாரிஸில் 0° சென்டிகிரேடு வெப்பநிலையில் பாதுகாத்து வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பிளாட்டினத் துண்டின் நீளமாகும்.

ஒரு கிராம் என்பது ஒரு கிலோகிராமின் ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியாகும். ஒரு கிலோகிராம் என்பது பாரிஸில் பாதுகாக்கப் பட்டுள்ள ஒரு பிளாட்டின குண்டின் நிறையாகும்.

ஒரு விநாடி என்பது சராசரி சூரிய நாளொன்றில் 86,400-ல் ஒரு பகுதியாகும்.

M. K. S. முறையில், மீட்டர், கிலோகிராம், விநாடி முறையே நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றை அளவிடப் பயன்படும் அலகுகளாகும். இங்குள்ள அலகுகள் *C. G. S.* முறை அலகுகளைவிட பெரியனவாக உள்ளதால் இவை பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

வாய்பாடுகள்

நீளம்

10 மில்லிமீட்டர்	=	1 சென்டிமீட்டர்
10 சென்டிமீட்டர்	=	1 டெசிமீட்டர்
10 டெசிமீட்டர்	=	1 மீட்டர்
10 மீட்டர்	=	1 டெக்காமீட்டர்
10 டெக்காமீட்டர்	=	1 ஹெக்டாமீட்டர்
10 ஹெக்டாமீட்டர்	=	1 கிலோமீட்டர்.

நிறை

10 மில்லிகிராம்	=	1 சென்டிகிராம்
10 சென்டிகிராம்	=	1 டெசிகிராம்

10 டெசிகிராம்	=	1 கிராம்
10 கிராம்	=	1 டெக்காகிராம்
10 டெக்காகிராம்	=	1 ஹெக்டாகிராம்
10 ஹெக்டாகிராம்	=	1 கிலோகிராம்,

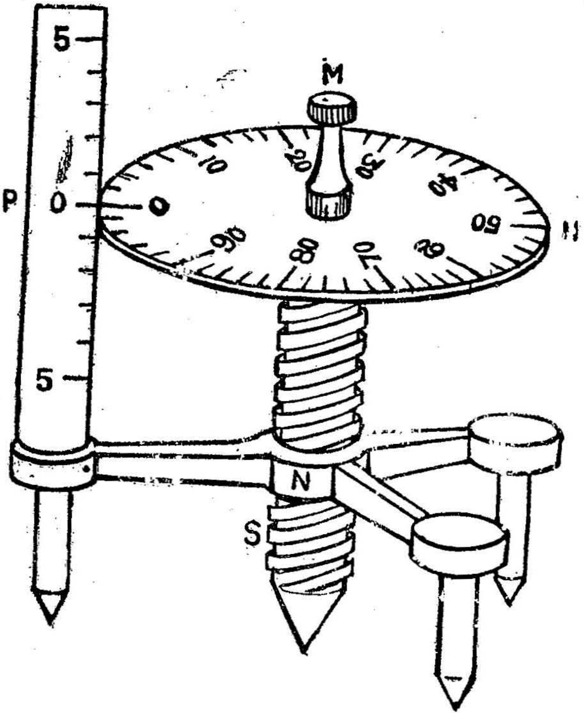
காலம்

60 விஞடி	=	1 நிமிடம்
60 நிமிடம்	=	1 மணி
24 மணி	=	1 நாள்
365·25 நாள்கள்	=	1 ஆண்டு

நீட்டலளவு

கோளமானி (Spherometer)

திருகாணியின் தத்துவம்: மரையின் வழியே செலுத்தப்பட்ட திருகின் தலையை ஒரு முழுச்சுற்றுச் சுற்றிஞல் திருகின் முனை



படம் 1. கோளமானி

எப்பொழுதும் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் நகரும். இது புரியிடைத் தூரம் என அழைக்கப்படும். இரண்டு அடுத்தடுத்த புரிகளுக்கு இடையே யுள்ள செங்குத்துத் தூரமும் இதற்குச் சமமாகும். இதன் உதவியால் மெல்லிய தகட்டின் தடிமத்தையோ அல்லது கோளவடிவு கொண்டதன் வளைவு ஆரத்தையோ கண்டுபிடிக்கலாம்.

கோளமானியின் அமைப்பு: கோளமானியில் செங்குத்தான ஒரே நீளம் உள்ள மூன்று கூரான கால்களின்மேல் பொருத்தப் பட்டுள்ள ஒரு முக்கவை உலோகச் சட்டம் ஒன்று உள்ளது. இவை மூன்றும் ஒரே தளத்திலும், ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் மூன்று முனைகளிலும் அமையும். முக்கவையின் நடுவில் உள்ளீடற்ற குறுகிய குழல் வடிவத்தில் (N) திருகு மரைகள் உள்ளன. இதன் வழியே கீழ்முனை கூராக உள்ள ஒரு திருகாணி (S) உள்ளது. திருகாணியின் மேல்முனை ஓர் உலோக வட்டத் தட்டுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தட்டின் விளிம்பில் குறியீடுகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. இதுவே கருவியின் தலைக்கோலாகும் (Head Scale). M என்பது திருகின் தலை. இதைத் திருகி, தலைக் கோலைச் சுழலச் செய்யலாம். முக்கவையின் ஏதாவதொரு முனையில் ஒரு காலுக்கு இணையாகவும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மில்லி மீட்டரில் அளவீடு செய்யப்பட்டுள்ள ஒரு கோல் உள்ளது. இதுவே கோளமானியின் புரிக்கோல் (Pitch Scale) என அழைக்கப் படுகிறது. இக் கோல் தலைக்கோல் தட்டை விளிம்பில் தொட்டுக் கொண்டிருக்கிறது. மூன்று கால்களின் முனைகள், திருகின் கீழ்முனை எல்லாம் ஒரே தளத்தில் இருக்கும்போது தலைக்கோலின் சுழி புரிக்கோலின் சுழியைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும். இவ்வாறு தான் கோளமானி அமைக்கப்படுகிறது. புரிக்கோலில் அளவுகள் படத்தில் காட்டியவாறு, சுழிக்குக் கீழும், மேலும் குறியீடுகள் போடப்பட்டிருக்கும்.

மெல்லிய தகட்டின் தடிமம் காணல்: கொடுக்கப்பட்டுள்ள தகட்டின் தடிமத்தைக்காண முதலில் கோளமானியின் புரியிடைத் தூரம் (Pitch), மீச்சிற்றளவை (Least Count) முதலியவற்றைக் காணவேண்டும். தலைக்கோலின் சுழிக்குறி புரிக்கோலின் பிரிவு ஒன்றோடு அமையுமாறு வைத்துத் திருகை 5 (அல்லது) 10 முழுச் சுற்றுகள் சுற்றிப் புரிக்கோலில் நகர்ந்த தூரத்தைக் காணவேண்டும். பிறகு புரிக்கோலில் நகர்ந்த தூரத்தைச் சுழற்றப்பட்ட சுற்றுகளின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க, புரியிடைத் தூரம் கிடைக்கும்.

$$\text{புரியிடைத் தூரம்} = \frac{\text{புரிக்கோலில் நகர்ந்த தூரம்}}{\text{சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை}}$$

புரியிடைத் தூரத்தைத் தலைக்கோலில் உள்ள மொத்தப் பிரிவுகளால் வகுக்க மீச்சிற்றளவை கிடைக்கும்.

$$\text{மீச்சிற்றளவை} = \frac{\text{புரியிடைத் தூரம்}}{\text{தலைக்கோலில் உள்ள மொத்தப் பிரிவுகள்}}$$

இதன் பின்னர் தொடக்க அளவீட்டைக் (Zero reading) கண்டு பிடிக்க வேண்டும். மூன்று கால்களின் முனைகளும், திருகாணியின் கூர்முனையும் ஒரே சமதளத்தில் அமையும்போது கோளமானி பதிவு செய்யும் அளவீடே தொடக்க அளவீடு எனப்படும். இதைக் காண கோளமானியை ஒரு பெரிய சமதளக் கண்ணாடிப் பரப்பின் மீது வைத்து நடுவிலுள்ள திருகைத் திருகி, திருகாணியின் கீழ்முனை கண்ணாடிப் பரப்பைச் சற்றே தொடும்படி அமைக்கவேண்டும். அப்பொழுது கருவி காட்டும் அளவீடுகளைப் பதிவு செய்தல் வேண்டும்.

∴ தொடக்க அளவீடு = புரியிடைக்கோல் அளவு + (தலைக்கோல் ஒன்றிப்பு × மீச்சிற்றளவை)

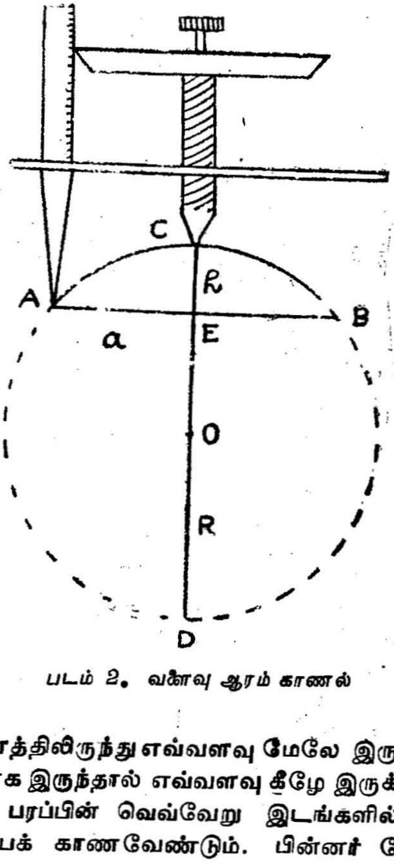
இதன் பிறகு திருகாணியை மேல்நோக்கித் திருகி தடிமம் காணவேண்டிய தகட்டைத் திருகாணியின் கீழ் வைக்கவேண்டும். திருகைத் திருகி திருகாணியின் கீழ்முனை தகட்டின் மேற்பரப்பைச் சற்றே தொடுமாறு அமைத்துக்கொள்ள வேண்டும். மற்ற மூன்று கால்கள் தடிமம் காணவேண்டிய தகட்டைத் தொடக்கூடாது. இப்பொழுது புரியிடைக்கோல், தலைக்கோல் ஒன்றிப்பு இவற்றைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இதிலிருந்து கோளமானி பதிவு செய்த அளவீட்டைக் காணலாம்.

இவ்வாறு கோளமானி பதிவுசெய்த அளவீட்டிலிருந்து தொடக்க அளவீட்டைக் கழிக்க தகட்டின் தடிமம் கிடைக்கும். தகட்டின் வெவ்வேறு இடங்களில் தடிமம் கண்டு அதன் சராசரியைக் காணலாம்.

கோளவடிவப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் காணல்: கோளமானியை ஒரு சமதளக் கண்ணாடித் தகட்டின்மீது வைத்துத் தொடக்க அளவீட்டைக் காணவேண்டும்.

ABC என்பது வளைவு ஆரம் காணவேண்டிய கோளவடிவப் பரப்பின் ஒரு பகுதியாக இருக்கட்டும். இதன்மீது கோளமானியை வைத்துத் திருகாணியின் கீழ்முனை கோளவடிவப் பரப்பைச் சற்றே தொடுமாறு அமைத்துக்கொள். பிறகு புரியிடைக்கோல் அளவு,

தலைக்கோல் ஒன்றிப்பு இவைகளைக் குறித்துக்கொண்டு பதிவுசெய்த அளவீட்டைக் கண்டுபிடி. தொடக்க அளவீட்டை இதிலிருந்து கழிக்க கிடைக்கும் அளவை h எனக் கொள்வோம். குவிப்பரப்பிற்கு இந்த அளவு, திருகின் முனை கோளமானியின் மூன்று கால்களையும்



படம் 2. வளைவு ஆரம் காணல்

சேர்க்கும் சமதளத்திலிருந்து எவ்வளவு மேலே இருக்கிறதென்பதையும் குழிப்பரப்பாக இருந்தால் எவ்வளவு கீழே இருக்கிறது என்பதையும் குறிக்கும். பரப்பின் வெவ்வேறு இடங்களில் வைத்து h-ன் சராசரி மதிப்பைக் காணவேண்டும். பின்னர் கோளமானியைத் தாளின்மீது வைத்து மூன்று கால்கள் திருகின் முனை இவற்றின் படிவங்கள் கிடைக்குமாறு செய்துகொள்ள வேண்டும். ஏதாவதொரு காலின் முனையிலிருந்து திருகின் முனைவரையுள்ள தூரத்தை a எனக்கொண்டால்,

$$R = \frac{a^2}{2h} + \frac{h}{2}$$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து வளைவு ஆரம் R-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

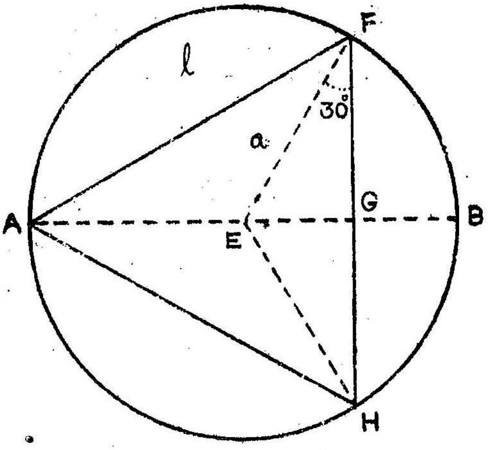
இரண்டு கால்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை l எனக்கொண்டால் வளைவு ஆரத்தை,

$$R = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2}$$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து காணலாம்.

வளைவு ஆரத்தின் வாய்பாடு: ABC என்பது வளைவு ஆரம் காணவேண்டிய கோள வடிவப் பரப்பாகும். இப் பரப்பின் வளைவு ஆரத்தை R எனக்கொள்வோம். A என்பது கோளமானியின் கால் ஒன்றையும், C திருகாணியின் முனையையும் குறிக்கின்றன. CD என்பது கோளகப் பரப்பின் விட்டமாகும். ABயும், CDயும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கட்டும். AE என்ற தூரத்தை a எனக் குறிப்பிடுவோம். இது ஏதாவதொரு கால்களிலிருந்து திருகாணியின் முனைவரையுள்ள தூரத்தைக் குறிக்கிறது.

இப்பொழுது வட்டங்களின் பண்பிலிருந்து

$$AE \times EB = CE \times ED$$ எனத் தெரிகிறது.



படம் 3. கோளமானி கால்களின் படிவங்கள்

அதாவது,

$$AE \times EB = CE\,(2R - CE)$$

$$a^2 = h\,(2R - h)$$

$$= 2hR - h^2$$

எனவே,

$$2hR = a^2 + h^2$$

$$\therefore R = \frac{a^2+h^2}{2h}$$

$$R = \frac{a^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

இரண்டு கால்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தை l எனக் கொள்வோம்.

$$FG = \frac{FH}{2} = \frac{l}{2} = EF \cos 30$$

$$\therefore EF = a = \frac{l}{2 \cos 30} = \frac{l}{2 \times \sqrt{\frac{3}{2}}}$$

$$a = \frac{l}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore R = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

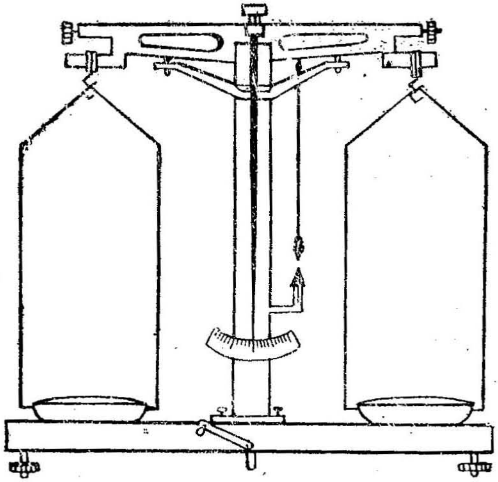
l, h இவைகளின் மதிப்பைக்கொண்டு கோளவடிவப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் Rஐக் கணக்கிடலாம்.

நிறுத்தலளவு

பௌதிகத் தராசு (Physical Balance)

பொருள்களின் நிறையைத் துல்லியமாகக் காண பௌதிகத் தராசு பயன்படுகிறது. சமதள மரப்பலகை ஒன்றின் நடுவில் ஓர் உள்ளீடற்ற ஆனால் உறுதியான தூண் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. கைப்பிடியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் உலோகத்தண்டு இந்தத் தூணினுள்ளே அமைந்துள்ளது. கைப்பிடியை இயக்கி உலோகத்தண்டைக் கீழும் மேலும் அசைக்க முடியும். இந்த உலோகத்தண்டின்மேல் அகேட் (Agate) பொருளாலான கத்திமுனையில் உறுதியான தூலம் (Beam) அமைந்துள்ளது. கத்திமுனை கீழ்நோக்கி உலோகத்தண்டின்மீது அமைந்திருக்கும். தூண் செங்குத்தாக உள்ளதா என்பதைச் சரிபார்க்க அதன் பக்கத்தில் ஒரு தூக்கு நூற்குண்டு (Plumb-line) உள்ளது. தூக்கு நூற்குண்டின்

இரு கூரிய முனைகளும் ஒன்றிச் செங்குத்தாக இருந்தால் தூண் செங்குத்தாக உள்ளது எனப்படும். இதனைச் செய்ய மரப்பலகை யின்கீழ் உள்ள சரிமட்டத் திருகாணிகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.



படம் 4. பௌதிகத் தராசு

தூலத்தின் இரு முனைகளிலும் மையத்திலிருந்து சமதூரத்தில் மேல்நோக்கி இரு அகேட் (Agate) முனைகள் உள்ளன. இம் முனை களிலிருந்து இரு கொக்கிகளும் (Stirrups), கொக்கிகளிலிருந்து சம எடையுள்ள இரு தட்டுகளும் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. தூலத் தின் இரு முனைகளிலும் இரு திருகு மரைகள் உள்ளன. தூலம் கிடை மட்டமாக இருக்க இதனைப் பயன்படுத்தலாம். தூலத்தின் மையத் தில் அதற்கு நேர்கோணத்தில் அமையும்படி ஒரு நீளமான குறிமுள் (Pointer) உள்ளது. தராசு வேலை செய்யும்பொழுது குறிமுள்ளின் கீழ்முனை தூணில் பொருத்தப்பட்டுள்ள ஓர் அளவுகோலின் முன் அசைகிறது. தராசு எப்பொழுதும் கதவுகளுடன் கூடிய கண்ணுடிப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டு இருப்பதால் காற்றோட்டத்தால் அது பாதிக்கப்படமாட்டாது.

திரும்புதானம்(Turning point): சீரமைக்கப்பட்ட ஒரு தராசைத் தொழிற்படுத்தியவுடன் அதன் குறிமுள் அளவுகோல்முன் அசைந் தாடுகிறது. இடப் பக்கத்தில் அளவுகோலின் எந்தப் பிரிவில் வந்து குறிமுள் திரும்புகிறதோ அது இடத் திரும்புதானம் என்றும், (Left Turning point) வலப் பக்கத்தில் அளவுகோலின் எந்தப்

பிரிவில் வந்து குறிமுள் திரும்புகிறதோ அது வலத் திரும்புதானம் (Right Turning point) எனவும் பெயர்ப்படும்.

நிலைத்தானம் (Resting point): சீரமைக்கப்பட்ட ஒரு தராசைத் தொழிற்படுத்தியவுடன் அதன் குறிமுள் அளவுகோல்முன் அசைந்தாடுகிறது. சிறிது நேரம் கழித்துக் குறிமுள் அமைதி நிலைக்கு வரும். இவ்வாறு அமைதி நிலைக்கு வந்து குறிமுள் அளவுகோலில் காட்டும் பிரிவு நிலைத்தானம் (Resting point) எனப்படும். இடப் பக்கம் மூன்று திரும்புதானங்களையும், வலப்பக்கம் இரண்டு திரும்புதானங்களையும் குறித்துக்கொண்டு நிலைத்தானத்தைக் கணக்கிடலாம்.

திரும்பு தானங்கள்	
இடம்	வலம்
a_1	b_1
a_2	b_2
a_3	

$$\therefore \text{நிலைத்தானம்} = \frac{\dfrac{a_1 + a_2 + a_3}{3} + \dfrac{b_1 + b_2}{2}}{2}$$

தராசு தட்டுகளில் எடை இல்லாதபோது கிடைக்கும் நிலைத்தானத்திற்குச் சுழிநிலைத்தானம் (Zero resting point) என்று பெயர்.

தராசின் நுட்பத்திறன்(Sensibility of a Balance): நிலைத்தானத்தை அளவுகோலின் ஒரு பிரிவு மதிப்பிற்கு மாற்றுவதற்குத் தேவையான எடையே தராசின் நுட்பத்திறன் எனப்படும். (அல்லது) தட்டில் 10 மி.கி. எடையைச் சேர்க்கும்போது நிலைத்தானத்தில் ஏற்படும் மாறுபாட்டின் அளவே தராசின் நுட்பத்திறன் என்றும் வரையறுக்கலாம்.

மதிப்புத் தெரிந்த எடைகளில் தராசின் நுட்பத்திறனைக் கண்டு, தராசின் நுட்பத்திறனுக்கும் எடைக்கும் ஒரு வரைபடம் வரைவதன் மூலம் எந்த எடையிலும் தராசின் நுட்பத்திறனை அறியலாம்.

மில்லிகிராமுக்குத் திருத்தமாகப் பொருளின் நிறையைக் காணல்: கொடுக்கப்பட்டுள்ள தராசைச் சீரமைத்துக் கொண்டு முன் கூறியவாறு சுழிநிலைத் தானத்தைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ள வேண்டும். இதனை a எனக் கொள்வோம். பின்னர் நிறை காண வேண்டிய பொருளை இடத் தட்டில் வைத்து வலத் தட்டில் எடைகளை இறங்கு வரிசையில் வைக்க வேண்டும்; குறிமுள் சுழி நிலைத்தானத்திற்கு இருபுறமும் சமமாக இயங்கும்படி எடைகளின் அளவுகளைச் சரிசெய்ய வேண்டும். அவ்வாறு செய்தபின் எடைகளின் அளவைக் குறித்துக்கொண்டு நிலைத்தானத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். எடையை W எனவும், நிலைத்தானத்தை b எனவும் கொள்வோம். இந்த நிலைத்தானமும் சுழிநிலைத்தானமும் ஒன்றே யானால் W பொருளின் நிறையைக் குறிக்கும். ஆனால் பொதுவாக b, aஐவிட அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ தான் இருக்கும். எனவே, எடையைச் சற்றுக் கூட்டியோ குறைத்தோ bஐ a-க்குச் சமமாக்க முயலவேண்டும்.

நிலைத்தானம் b, aஐவிட அதிகமாக இருப்பின் W உடன் 10 மில்லிகிராம் சேர்த்து நிலைத்தானத்தைத் திரும்பவும் காண வேண்டும். மாறாக b, aஐவிடக் குறைவாக இருப்பின் W-லிருந்து 10 மி. கிராமைக் குறைத்து நிலைத்தானத்தைக் காணவேண்டும். இவ்வாறு காணும் நிலைத்தானத்தை C எனக் கொள்வோம்.

பொருளின் எடையை மில்லிகிராமுக்குச் சுத்தமாகக் கீழ்க் கண்டவாறு கணக்கிடலாம்

bயானது aஐவிட அதிகம் எனக் கொள்வோம். நிலைத்தானத்தை bயிலிருந்து c-க்குக் கொண்டுவரப் போடப்பட்ட எடை,

$$= 10 \text{ மில்லிகிராம்} = 0{\cdot}01 \text{ கிராம்.}$$

$$\therefore \left.\begin{array}{l}\text{நிலைத்தானத்தை அளவுகோலில்}\\ \text{1 பிரிவு நகர்த்தத் தேவையான எடை}\end{array}\right\} = \frac{0{\cdot}01}{b-c} \text{ கிராம்.}$$

எனவே b என்ற நிலைத்தானத்தைச் சுழிநிலைத்தானமாகிய a-க்குக் கொண்டுவர தேவையான எடை,

$$= \frac{0{\cdot}01\ (b-a)}{(b-c)} \text{ கிராம்.}$$

$$\therefore \text{ சரியான எடை } = W + \frac{0{\cdot}01\ (b-a)}{(b-c)} \text{ கிராம்.}$$

இப்பொழுது bயானது aஐவிடக் குறைவாக இருந்தால் சரியான எடை,

$$= W - \frac{0{\cdot}01\ (a-b)}{(c-b)} \text{ கிராம்.}$$

மேலே கண்டவாறு எடையைக் கண்டால் பொருளின் எடையை மில்லிகிராம் சுத்தமாகக் கண்டறியலாம்.

திரும்புதானங்கள், எடைகள் முதலியவற்றைக் குறிக்கக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையைப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

எடை		திரும்பு தானங்கள்		நிலைத் தானம்	சரியான எடை
இடத் தட்டு	வலத் தட்டு	இடம்	வலம்		
0	0			a	
பொருள்	w கிராம்			b	
	w $\pm$ 0·01 கிராம்			c	

தராசைப் பயன்படுத்தும்பொழுது கவனிக்க வேண்டிய சில விதிகள்

1. சரிமட்டத் திருகாணிகளைத் திருகி, தூக்குக் குண்டின் உதவியால் தூண் செங்குத்தாக்கப்பட வேண்டும்.

2. தட்டுகள் இரண்டும் தூசு இன்றிச் சுத்தமாக இருக்க வேண்டும்.

3. தூலத்தின் இரு முனைகளிலுமுள்ள திருகுகளைத் திருகிக் குறிமுள் அளவுகோலின் மையத்திற்கு இருபுறமும் சமமாக அலைவுறும்படிச் செய்யவேண்டும்.

4. எடை காணப்படும் பொருளை இடத் தட்டிலும், எடைகளை வலத் தட்டிலும் வைக்கவேண்டும்.

5. எடை காணப்படும் பொருள்கள் சூடாக இருக்கக் கூடாது.

6. எடைகளை மாற்றும் பொழுதோ அல்லது தராசு தொழிற்படாத நிலையிலிருக்கும் பொழுதோ தூலத்தை அமைதிநிலையில் வைக்க வேண்டும்.

7. எடைகளை இடுக்கியின் உதவியாலே கையாள வேண்டும்.

8. காட்சிப் பதிவுகளை எடுக்கும்போது கண்ணாடிக் கதவுகள் மூடப்படவேண்டும்.

9. எடைகளை இறங்கு வரிசையிலேயே கையாள வேண்டும்.

10. தராசு எந்த அளவு எடைவரை பயன்படும்படி அமைக்கப் பட்டு இருக்கிறதோ அதற்கு அதிகமான எடையுள்ள பொருள்களை நிறுக்கக்கூடாது.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

(1) கோளமானி ஒன்றின் மூன்று கால்களும் 3·5 செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தின் பரிதியில் அமைகின்றன. சமதளத்தி லிருக்கும்போது பதிவு செய்த அளவு 4·25 மி.மீ. குழிப் பரப்பின் மீது பதிவு செய்த அளவு 3·20 மி.மீ. பரப்பின் வளைவு ஆரம் எவ்வளவு?

(58·38 செ.மீ.)

(2) கோளமானி ஒன்றின் மூன்று கால்களும் 3·6 செ.மீ. பக்க நீளமுள்ள ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் மூலையில் அமைகின்றன. ஒரு குவிப்பரப்பின் மீது கோளமானி இருக்கும்போது பதிவு செய்த அளவு 4·876 மி.மீ. அதன் தொடக்க அளவீடு 2·341 மி.மீ. குவிப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் எவ்வளவு?

(8·65 செ.மீ.)

(3) ஒரு தராசின் சுழிநிலைத்தானம் 10·5. பொருளை இடத் தட்டில் வைத்து 18·58 கிராம், 18·59 கிராம் எடைகளினால் சரி செய்யும் பொழுது கிடைத்த நிலைத்தானங்கள் முறையே 12, 8 ஆகும். தராசின் நுட்பத்தையும் பொருளின் நிறையையும் கணக்கிடுக.

(2·5 மி.கி./ பிரிவு, 18·584 கிராம்)

2. இயந்திரவியல்

இயந்திரவியலில் பயன்படுத்தும் சில பௌதிக அளவுகளை *C. G. S., M. K. S.* அலகு முறைகளில் இங்கு நாம் பார்ப்போம்.

அடர்த்தி (Density)............ $= \dfrac{\text{நிறை}}{\text{கன அளவு}}$

C. G. S : **கிராம்கள்/கன செ.மீ.**

M. K. S : **கிலோகிராம்கள்/கனமீட்டர்**

திசைவேகம் (Velocity)...... $= \dfrac{\text{பெயர்ச்சி}}{\text{எடுத்துக்கொண்ட காலம்}}$

C. G. S : செ.மீ./வினாடி

M. K. S : மீட்டர்/வினாடி

முடுக்கம்(Acceleration)......$= \dfrac{\text{திசை வேக மாறுபாடு}}{\text{எடுத்துக்கொண்ட காலம்}}$

C. G. S : செ.மீ./வினாடி^{2}

M. K. S : மீட்டர்/வினாடி^{2}

நிலைமத் திருப்புதிறன் (Moment of Inertia)...... = நிறை × தூரம்^{2}

C. G. S : *கிராம்—சதுர செ.மீ.*

M. K. S : கிலோ கிராம்—சதுர மீட்டர்.

உந்தம் (Momentum)...... = நிறை × திசை வேகம்

C. G. S : கிராம் — செ.மீ./வினாடி.

M. K. S : கிலோகிராம்—மீட்டர்/வினாடி.

கோண உந்தம் : (Angular Momentum)...... = **நிலைமத் திருப்புத் திறன்** × **கோணதிசைவேகம்.**

C. G. S: கிராம்—சதுர செ.மீ./விநாடி.

M. K. S: கிலோகிராம்—சதுரமீட்டர்/விநாடி.

விசை (Force)........ = நிறை × முடுக்கம்.

(*a*) **சார்பிலா அலகுகள் (Absolute Units)**

C. G. S: டைன்

M. K. S: நியூட்டன்

டைன் (Dyne): ஒரு கிராம் நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது ஒரு விசை செயற்பட்டு 1 செ.மீ./விநாடி^{2} என்ற முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தினால் அவ் விசையின் அளவு 1 டைன் (Dyne) எனப்படும்.

நியூட்டன் (Newton): ஒரு கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் மீது ஒரு விசை செயற்பட்டு 1 மீட்டர்/விநாடி^{2} என்ற முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தினால் அவ் விசையின் அளவு 1 நியூட்டன் எனப்படும்.

1 நியூட்டன் = 1 கிலோகிராம் × 1 மீட்டர்/விநாடி^{2}

= 1000 கிராம் × 100 செ.மீ./விநாடி^{2}

= 10^5 டைன்கள்.

(*b*) **ஈர்ப்பு அலகுகள் (Gravitational Units)**

C. G. S: கிராம் எடை.

1 கிராம் எடை = 981 டைன்கள்

M. K. S: கிலோகிராம் எடை

1 கிலோகிராம் எடை 9·81 நியூட்டன்கள்.

செயல், ஆற்றல் (Work, Energy)

செயல் = விசை × தொலைவு

C. G. S: டைன் — செ. மீ. (அல்லது) எர்க்.

M. K. S: நியூட்டன் — மீட்டர் (அல்லது) ஜூல்கள்

1 ஜூல் = 1 நியூட்டன் × 1 மீட்டர்.

= 10^5 டைன்கள் × 100 செ.மீ.

= 10^7 எர்க்குகள்.

திறன் (Power)

$$\text{திறன்} = \frac{\text{செயல்}}{\text{காலம்}}$$

C. G. S : எர்க்/விநாடி.

M. K. S : ஜூல்/விநாடி (அல்லது) வாட்டுகள்.

செய்முறை பயன்களுக்கு வாட் (Watt) மிகச் சிறிய அலகாக இருப்பதால் திறன் எப்போதும் கிலோவாட்டுகள் அல்லது மெகா வாட்டுகள் அலகால் குறிக்கப்படுகிறது.

1 கிலோ வாட் = 1000 வாட்டுகள்

1 மெகா வாட் = 10^6 வாட்டுகள்.

தகைவு (Stress)

$$\text{தகைவு} = \frac{\text{விசை}}{\text{பரப்பு}}$$

C. G. S : டைன்கள்/சதுர செ.மீ.

M. K. S : நியூட்டன்கள்/சதுரமீட்டர்.

அழுத்தம் (Pressure)

$$\text{அழுத்தம்} = \frac{\text{நேர்குத்துவிசை}}{\text{பரப்பு}}$$

C. G. S : டைன்கள்/சதுர செ.மீ.

M. K. S : நியூட்டன்கள்/சதுரமீட்டர்.

மேற்கூறிய அளவுகளைச் சுருக்கமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தலாம்:

பௌதிக அளவுகள்	C. G. S. அலகுகள்	M. K. S. அலகுகள்
அடர்த்தி	கிராம்கள்/கன செ.மீ.	கிலோகிராம்கள்/கன மீட்டர்
திசைவேகம்	செ.மீ./விநாடி	மீட்டர்/விநாடி
முடுக்கம்	செ.மீ./விநாடி^{2}	மீட்டர்/விநாடி^{2}
நிலைமத் திருப்பு திறன்	கிராம்—சதுர செ.மீ.	கிலோகிராம்—சதுர மீட்டர்
உந்தம்	கிராம்—செ.மீ./விநாடி	கிலோகிராம்—மீட்டர்/விநாடி
கோண உந்தம்	கிராம்—சதுர செ.மீ./விநாடி	கிலோகிராம்—சதுர மீட்டர்/விநாடி
விசை	டைன்	நியூட்டன்
செயல், ஆற்றல்	எர்க்	ஜூல்
திறன்	எர்க்/விநாடி	வாட்
தகைவு அழுத்தம்	டைன்கள்/சதுர செ.மீ.	நியூட்டன்/சதுர மீட்டர்

நல்ல தராசுக்குரிய தேவைகள் (Requisites of a good Balance)

சாதாரணத் தராசு (தேவைகள்)

குறைவற்ற நல்ல தராசு கீழ்க்கண்ட மூன்று குணங்களைப் பெற்றிருக்க வேண்டும்.

அவைகளாவன :

(1) மெய்ம்மை (Truth) (2) உணர்வு நுட்பம் (Sensitiveness) (3) நிலைப்பாடு (Stability).

இம் மூன்று குணங்களையும் சுருக்கமாகத் தராசின் தேவைகள் எனக் குறிப்பிடலாம்.

(1) மெய்ம்மை (Truth): தராசின் இரு தட்டுகளிலும் சம எடை, இருக்கும்போதோ அல்லது எடை இரா நிலையில் இருக்கும்போதோ, தராசின் தூலம் (Beam) கிடைமட்டமாக இருப்பின், அந்தத் தராசிற்கு மெய்யுணர்வு உள்ளதாகக் கருதப்படும்.

தராசுத் தட்டுகளின் எடை S_1, S_2 ஆகவும், ஆதாரத்தானத்திலிருந்து புயங்களின் தூரம் l_1, l_2 ஆகவும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். எடை இரா நிலையில் தூலம் கிடைமட்டமாக இருப்பதால்,

$$S_1 \times l_1 = S_2 \times l_2$$

ஒவ்வொரு தட்டிலும் W என்ற சம எடை வைத்த பின்பும் தூலம் கிடைமட்டமாக இருப்பதால்,

$$(W + S_1)\, l_1 = (W + S_2)\, l_2$$

அதாவது,

$$Wl_1 + S_1 l_1 = Wl_2 + S_2 l_2$$

ஆனால், $S_1 l_1 = S_2 l_2$

எனவே, $Wl_1 = Wl_2$

அல்லது, $l_1 = l_2$

$\therefore$ மேலும், $S_1 l_1 = S_2 l_2$

$\therefore S_1 = S_2$

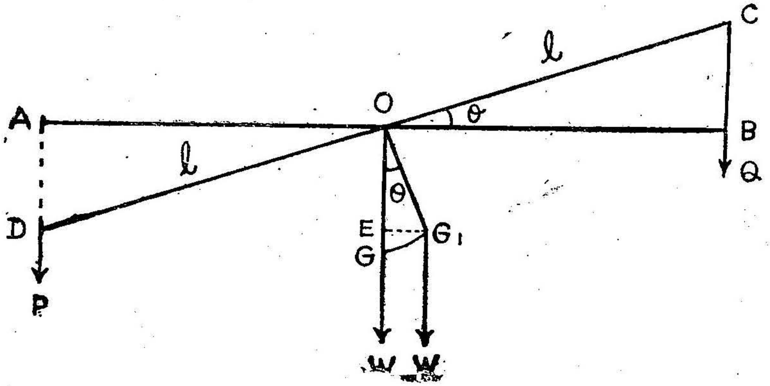
எனவே தராசு மெய்ம்மையாக இருப்பதற்கு,

(1) தட்டுகளின் எடை சமமாக இருக்கவேண்டும்.

(2) புயங்களின் நீளம் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

புயங்களின் நீளம் சமமாக இருப்பதோடு அல்லாமல் அவைகளின் எடையும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

(2) உணர்வு நுட்பம் (Sensitiveness): தட்டிலுள்ள எடைகளில் சிறிதளவு வேறுபாடு இருந்து, அதனால் குறிமுள் கணக்கிடத் தக்க அளவிற்கு விலகினால், அந்தத் தராசிற்கு உணர்வு நுட்பம் உண்டு எனக் கூறலாம்.



படம் 5. தராசின் உணர்வு நுட்பம்

படத்தில் AB என்பது தட்டுகளில் எந்த எடையும் இல்லாத போது கிடைமட்டத்தில் உள்ள தராசின் தூலத்தையும், O என்பது ஆதாரத்தானத்தையும் குறிக்கட்டும். தூலம், குறிமுள் ஆகியவற்றின் எடை O-க்குக் கீழேயுள்ள அவற்றின் புவிஈர்ப்பு மையம் G வழியே செயற்படட்டும். தராசின் புயங்கள் சம நீளமுடையனவாகவும், l என்ற மதிப்பை உடையனவாகவும் இருக்கட்டும். P, Q என்ற எடைகள் தூலத்தின் A, B ஆகிய இருமுனைகளில் தொழிற்படும் எடைகளாக இருக்கின்றன. P, Q வைவிட அதிகமாக இருந்தால் தூலம் θ என்ற கோணம் விலகி, அதனால் புவிஈர்ப்பு மையம் G_1-க்கு உயருகிறது. இந் நிலையில் O-ஐப் பற்றிச் சுழற்றுத் திறன் கண்டால்,

$$P \times AO = Q \times BO + W \times G_1 E$$

$$AO = BO = l \cos \theta$$

$$G_1E = O G_1 \sin \theta$$

$$\therefore (P - Q)\, l \cos \theta - W \times OG_1 \sin \theta$$

$$\therefore \tan\theta = \frac{(P-Q)}{W \cdot OG_1}$$

$(P-Q)$ என்பது தட்டிலுள்ள எடைகளின் மிகச் சிறிய வேறுபாடு என்றும், அது ஒரு மாறிலி எனவும் கொள்வோம். தராசு உணர்வு நுட்பமுடையதாக இருக்கவேண்டுமானல் இந்தச் சிறிய வேறுபாடு $(P-Q)$விற்கு $\tan\theta$வின் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். எனவே $\tan\theta$ அதிகமாக இருக்கவேண்டுமானல் l அதிகமாகவும், Wவும், OG_1-ம் குறைவாகவும் இருக்கவேண்டும். அதாவது உணர்வு நுட்பத்தை அதிகரிக்க,

(1) புயங்களின் நீளத்தை அதிகரிக்க வேண்டும்.

(2) தூலத்தின் எடையைக் குறைக்க வேண்டும்,

(3) தூலம், குறிமுள் இவைகளின் புவிஈர்ப்பு மையம் கூடிய மட்டும் ஆதாரத்தானத்திற்கு அருகிலிருக்க வேண்டும். தூலத்தின் எடையைக் குறைப்பதற்குத் தூலம் சிறு சிறு துளைகள் உள்ளதாக வோ. (அல்லது) உள்ளீடற்றதாகவோ இருக்கும்படி அமைக்கலாம்.

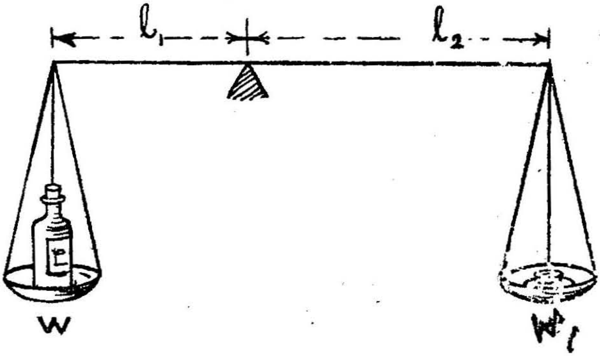
நிலைப்பாடு (Stability): தராசின் இரண்டு தட்டுகளிலும் சம எடை இருக்கும்போது தராசு நடுநிலைமைக்கு விரைவில் வந்து விட்டால் அத் தராசிற்கு நிலைப்பாடு உண்டென்று கூறலாம். W என்ற விசையின் சுழற்றுத் திறன் $W \times G_1E$ என்பது எவ்வளவு அதிகமாக இருக்க முடியுமோ அவ்வளவு அதிகமாக இருந்தால் தராசு வெகு விரைவாக நடுநிலைமைக்கு வரும். இதனைத் தூலம், குறிமுள் இவற்றின் புவிஈர்ப்பு மையம் ஆதாரத்தானத்திலிருந்து அதிகத் தொலைவு கீழே இருக்கும்படி அமைத்தால் பெறலாம். எனவே உணர்வு நுட்பத்திற்குப் புவிஈர்ப்புத்தானம் ஆதாரத்தானத் திலிருந்து குறைவாகவும், நிலைப்பாட்டிற்கு அதிகமாகவும் இருக்க வேண்டும். ஆகையால் ஒரே தராசில் இந்த இரண்டு குணங்களும் அமையும்படி இருக்க இயலாது. எனவே உணர்வு நுட்பமும், நிலைப் பாடும் ஒன்றுக்கொன்று தனித்து நிற்பவை.

ஆய்வுக் கூடங்களில் பயன்படுத்தும் தராசுகளில் உணர்வு நுட்பமும், வியாபாரிகள் பயன்படுத்தும் தராசுகளில் நிலைப்பாடும் இருக்க வேண்டும்.

காஸ் முறையில் பொய் தராசு மூலம் எடை காணல்: தராசு புயங்களின் நீளம் l_1, l_2 எனக் கொள்வோம். பொருளை இடப்புறத் தட்டில் வைத்து W_1 என்ற எடையை வலப்புறத் தட்டில் வைத்துச் சமன் செய்தல் வேண்டியுள்ளது. பொருளின் எடை W என்ருல், சுழற்றுத் திறன் விதியின்படி,

$W \times l_1 = W_1 \times l_2$ ......(1)

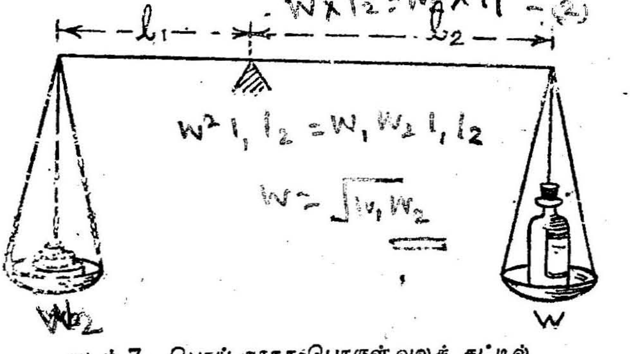
பிறகு பொருளை வலப்புறத் தட்டிலும், W_2 என்ற எடையை இடப்புறத் தட்டிலும் வைத்துச் சமன் செய்ய வேண்டும்.



படம் 6. பொய்த் தராசு-பொருள் இடத் தட்டில்

இப்போது சுழற்றுத் திறன் விதியின்படி,

$W \times l_2 = W_2 \times l_1$ ......(2)



படம் 7. பொய் தராசு-பொருள் வலத் தட்டில்

முதல் சமன்பாட்டையும், இரண்டாம் சமன்பாட்டையும் பெருக்க,

$\therefore W^2 l_1 \; l_2 = W_1 \, W_2 \, l_1 \, l_2$

$\therefore W^2 = W_1 \, W_2$

$\therefore W = \sqrt{W_1 \, W_2}$

$\therefore$ பொருளின் உண்மையான எடை $W = \sqrt{W_1 \, W_2}$

புயங்களின் நீளத்திற்கு இடையேயுள்ள தகவு : முதல் சமன்பாட்டை இரண்டாம் சமன்பாட்டால் வகுக்க.

$$\frac{W \times l_1}{W \times l_2} = \frac{W_1 \times l_2}{W_2 \times l_1}$$

$$\therefore W_2 l_1^2 = W_1 l_2^2$$

$$\therefore \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{W^1}{W^2}$$

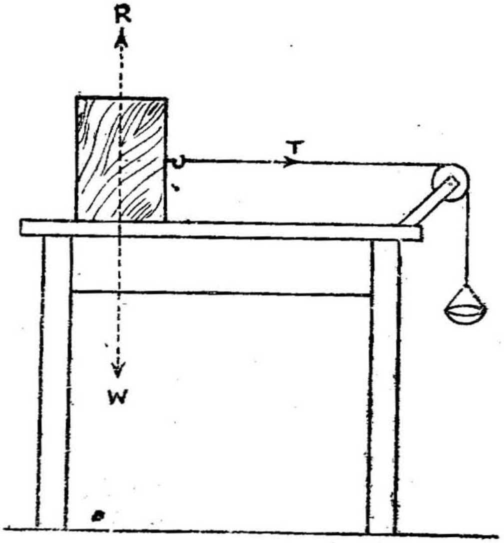
$$\therefore \frac{l_2}{l_1} = \frac{\sqrt{W_1}}{W_2}$$

உராய்வு (Friction)

ஒரு பொருள் மற்றொன்றின்மீது நழுவிக்கொண்டு செல்லும்போது அதனுடைய இயக்கத்தைத் தடைசெய்யும் விசையை உராய்வு என்கிறோம். இயந்திரங்களின் திறனை ஆராயும்போது இந்த உராய்வு மிக முக்கியமானதாகக் கருதப்படுகிறது. இயந்திரங்களின் பல பாகங்களில் நடைபெறும் உராய்வால் அவைகள் திறன் மிகவும் குறைகிறது. நிலைமத்தைப்போல் (Inertia) உராய்வும் ஒரு பொருளின் குணமாகும். பொருள் இயங்கும் திசைக்கு எதிர்திசையிலேயே எப்பொழுதும் உராய்வு விசை செயற்படும். உராய்வு தானே சரிசெய்து கொள்ளும் அமைப்புடைய விசையாகும். அன்றாட வாழ்க்கையில் உராய்வு, பெரும் பங்கினை வகிக்கின்றது. உராய்வு இல்லையெனில் வண்டிகள் ஓடாது. நம்மால் நடக்க இயலாது. [வழவழப்பான தரையின்மீது நடப்பது எவ்வளவு கடினம் என்பது நமக்குத் தெரியும்.] இதுபோல் இன்னும் பலபல.

படத்தில் காட்டியவாறு, மேசை ஒன்றின்மீது ஒரு மரக் கட்டையை ஒரு கம்பியில் கட்டி அக் கம்பியைக் கப்பியின் மூலமாக எடைத்தட்டுடன் இணைத்துக் கொள்வதாகக் கொள்வோம். மரக்கட்டையின் எடை W செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி செயற்படுகிறது. இதற்கு எதிர்திசையில் அதாவது செங்குத்தாக மேல்நோக்கி அப் பொருளின் நேர்குத்து எதிர்விசை (Normal Reaction) R செயற்படுகிறது. எனவே $R = W$. இப்பொழுது எடைத்தட்டில் சிறு எடையை வைத்தோமானால் கட்டை நகருவதில்லை. ஏனெனில் கம்பியின் இழுவிசைக்குச் சமமான உராய்வு விசை எதிர்திசையில் செயற்படுகிறது. பிறகு சிறிது சிறிதாக எடையை அதிகரித்துக் கொண்டே வந்தால் உராய்வு விசையும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால் ஓரளவிற்கு மேல் உராய்வு விசை அதிகரிக்க முடியாது. அதனால்

எப்போது எடை இந்த உராய்வு விசையின் அளவை மீறுகிறதோ அப்போது மரக்கட்டை மேசையின்மீது நகருகிறது. எப்போது



படம் 8. பொருளொன்றின் உராய்வு

பொருள் நகர ஆரம்பிக்கிறதோ அப்போது எடைத்தட்டில் உள்ள எடை "உராய்வு வரம்பைக்" (Limiting Friction) குறிக்கிறது.

உராய்வு விதிகள்

(1) உராய்வு விசை எப்போதும் பொருள் இயங்கவிழையும் திசைக்கு எதிர்திசையிலேயே செயற்படும்.

(2) இரு பரப்புகளுக்கிடையே ஒப்பு இயக்கம் (Relative Motion) ஏற்பட்டிருக்கும்போது உள்ள உராய்வு விசை அப்பரப்புகள் சமநிலையில் உள்ளபோது உள்ள உராய்வு விசையைவிட குறைவாக இருக்கும்.

(3) உராய்வு வரம்பு விசைக்கும், நேர்குத்து எதிர்விசைக்கும் இடையேயுள்ள தகவு "உராய்வு எண்" (Coefficient of Friction) எனப்படும். இது ஒரு மாறிலியாகும்.

∴ உராய்வு எண் $\mu = \frac{F}{R}$. இங்கு F என்பது உராய்வு வரம்

யையும், R என்பது நேர்குத்து எதிர்விசையையும் குறிக்கும். எனவே,

$$F = \mu R.$$

(4) நேர்குத்து எதிர்விசை மாறுமலிருக்கும்வரை உராய்வு வரம்பு, சேர்ந்திருக்கின்ற பரப்புகளின் பரப்பளவையோ அல்லது உருவத்தையோ பொருத்தது அன்று.

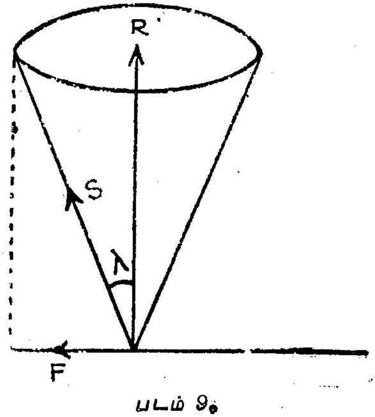
(5) பொருள் இயக்கத்திலிருக்கும்போது உராய்வு விசை இந்த இயக்கத்தை எதிர்க்கும். இப்போதுள்ள உராய்வு பொருளின் திசை வேகத்தைப் பொருத்தது அன்று. இதன் மதிப்பு உராய்வு வரம்பிற்குச் சிறிது குறைவாகவே இருக்கும்.

ஒரு பொருள் மற்றொன்றின்மீது உருண்டோடும்போது ஏற்படுகிற உராய்வை உருள் உராய்வு (Rolling Friction) என்று கூறலாம். இரு பரப்புகளுக்கிடையேயுள்ள உருள் உராய்வு நழுவு உராய்வைவிட மிகக் குறைவாக இருக்கும்.

ஒப்பு இயக்கமுடைய பகுதிகளுக்கு இடையே வாஸலைன், கிரீஸ் எண்ணெய் போன்ற உராய்வுக் காப்புப்-பொருள்களைத் தடவி இரு பரப்புகளுக்கிடையேயுள்ள உராய்வினை வியக்கத்தக்க முறையில் குறைக்கலாம்.

உராய்வுக்கோணம், உராய்வுக்கூம்பு (Angle of Friction, Cone of Friction)

ஒரு பொருள் மற்றொரு பொருளின் மீது சமநிலை வரம்பில் இருக்கும்பொழுது அதன்மீது தொழிற்படும் நேர்குத்து எதிர்விசை,



படம் 9.

வரம்பு உராய்வு விசை ஆகியவற்றின் தொகுபயன் நேர்குத்து எதிர் விசையுடன் கொண்ட கோணம் உராய்வுக் கோணம் (Angle of Friction) என்றும், இந்த உராய்வுக் கோணத்தை அரை உச்சிக் கோணமாகக் கொண்ட ஒரு கூம்பின் கற்பனை உராய்வுக்கூம்பு (Cone of friction) எனவும் வரையறுக்கப்படுகின்றன.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) ஒரு தராசின் இரு புயங்களும் வெவ்வேறு நீளங்களை உடையன. ஒரு பொருளை இரு தட்டுகளிலும் மாற்றி வைத்து நிறுக்கும்பொழுது அதன் எடைகள் முறையே 28 கி, 29 கி. ஆகும். பொருளின் உண்மையான நிறையைக் கணக்கிடுக.

பொருளின் உண்மையான நிறையை W என்க.

$$\text{இங்கு} \quad W_1 = 28 \text{ கி.}$$
$$W_2 = 29 \text{ கி.}$$

எனவே உண்மையான நிறை (w) $= \sqrt{W_1 W_2}$

$$= \sqrt{28 \times 29}$$
$$= 28{\cdot}49 \text{ கி.}$$

எனவே பொருளின் உண்மையான நிறை $= 28{\cdot}49$ கி.

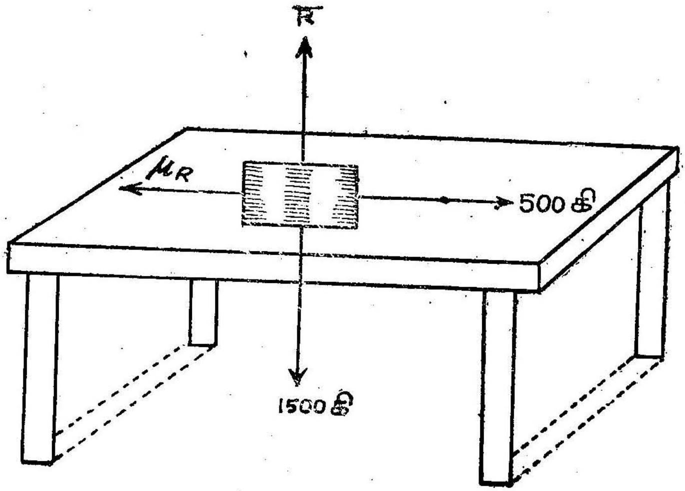
(2) 1·5 கிலோகிராம் எடையுள்ள பொருள் 500 கிராம் எடையினால் தரையின்மீது இழுக்கப்படுகிறது. தரைக்கும் பொருளுக்கும் இடையே உள்ள உராய்வு எண், விசைகளின் தொகுபயன், அது செயல்படும் திசை இவற்றைக் கணக்கிடுக.

நேர்குத்து எதிர்விசை R எனவும் உராய்வு எண் μ எனவும் கொள்வோம். விசைகளைக் கூறுபடுத்தினால்.

$$R = 1500$$
$$\mu R = 500$$
$$\therefore \quad \mu = \frac{500}{1500} = \frac{1}{3}$$

எனவே உராய்வு எண் $= \dfrac{1}{3}$

$$\text{தொகுபயன்} = \sqrt{1500^2 + 500^2}$$
$$= 1581 \text{ கிராம் எடை}$$



படம் 10.

தொகுபயன் கிடைத்தளத்துடன் கொண்ட கோணம் θ எனில்,

$$\tan\theta = \frac{1500}{500} = 3$$
$$\theta = \tan^{-1} 3$$

மீட்சியல் (Elasticity)

பொருள் ஒன்றின் மீது விசைகள் செயற்படும்போது அப் பொருளின் பகுதிகளுக்குள் ஒப்பு இயக்கம் (Relative Motion) ஏற்பட ஏதுவாகும். இதனால் அப் பொருளில் உருவ மாற்றம் விளையும் அல்லது பருமன் மாறும். இந் நிலையினை விளைவிக்கும் விசைகளை அகற்றியபின் பொருள்கள் இயங்கும் முறையினைக் கொண்டு அவற்றினை வகைப்படுத்தலாம்.

விசைகளின் விளைவால் மாற்றப்பட்ட உருவமோ அல்லது பருமனோ நிலையானால் அப் பொருள் பிளாஸ்டிக் (Plastic) எனப்படும். அவ்வாறின்றி பொருள் தன் தொடக்க உருவம் அல்லது பருமன் இவற்றினை மீண்டும் பெற்றால் அப் பொருள் மீட்சியல் வாய்ந்தது எனப்படும். மீட்சியல் எனும் இச் சொல்லினை முதன்

முதலில் ராபர்ட் பாயில் (Robert Boyle) என்பவர் கி. பி. 1660ஆம் ஆண்டு பயன்படுத்தினார்.

தகைவு (Stress): ஓரலகுப் பரப்பளவின் மீது செயற்படும் விசை தகைவு எனப்படும். செயற்படும் விசை f எனவும், அது செயற்படும் பரப்பளவு a எனவும் கொண்டால்,

$$\text{தகைவு} = \frac{f}{a}$$

திரிபு (Strain): மீட்சியல் வாய்ந்ததொரு பொருளில் விசைகள் செயற்பட எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே சீரான பரும மாற்றம் உண்டாகலாம். திட, திரவ, வாயு ஆகிய மூவகைப் பொருள்களிலும் மாற்றம் விளையக்கூடும். நீளமாற்றம் திடப் பொருளில் மட்டுமே ஏற்படும். மாற்றம் எவ்வகைத்தாயினும் பொருளில் விளைந்த அளவு மாற்றத்திற்கும் அதன் தொடக்க அளவிற்கும் உள்ள தகைவு அப்பொருளின் திரிபு என வரையறுக்கப்படும்.

பொதுவாக எல்லாப் பொருள்களிலும் ஏற்படும் திரிபுகளை மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

அவையாவன :

(1) ஒரு பொருளின்மீது இரண்டு சம அளவுள்ள விசைகள் நேர் எதிர்திசையில் செயல்படுமாயின் அப் பொருளின் நீளம் அந்த விசைகளின் திசையில் மாற்றமடையும். இவ்வாறு திரிபு நீள வாட்டத்தில் ஏற்படும்போது நீட்சித் திரிபு (Linear or Longitudinal strain) எனப்படும். கம்பியொன்றின் தொடக்க நீளம் L, எனவும், நீளமாற்றம் e எனவும், கொண்டால்

$$\text{நீட்சித் திரிபு} = \frac{e}{L}$$

(2) பொருளொன்றின் ஒரு பக்கம் நிலையாக இருந்து அதன் எதிர்ப்பக்கத்தில் அதற்கு இணையாக ஒரு விசையைச் செயல்படுத்தினால் பொருள் உருவமாற்றம் அடைகிறது. ஆனால் அதன் பருமன் மாறுவதில்லை. இத்தகைய தகைவு தொடுவியல் தகைவு (Shearing Stress) என்றும், அதனால் தோற்றுவிக்கப்படும் திரிபு சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு (Shearing Strain) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

(3) பொருளின் எல்லாப் பக்கங்களிலும் ஒரு விசை சீராகவும், பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகவும் செயல்படுமாயின் அந்தப் பொருளின் உருவம் மாறாமல் பருமன் மட்டும் மாறுதலடையும். இவ்வாறு

ஏற்படும் திரிபு பருமத் திரிபு (Bulk Strain) எனப்படும். பொருளொன்றின் தொடக்கப் பருமன் V எனவும், பரும மாற்றம் v எனவும் கொண்டால்,

$$\text{பருமத் திரிபு} = \frac{v}{V}$$

ஹூக் விதி (Hooke's Law): ஒரு பொருளின்மேல் செயல்படும் விசையினால் அதன் நீளமோ, பருமனோ மாறுதல் அடைகிறது. விசையின் அளவை அதிகரித்துக்கொண்டே சென்றால் திரிபும் அதிகமாகும். செயல்படும் விசையை நீக்கும்போது பொருள் தனது தொடக்கநிலைக்கே மீளுமாயின் அப் பொருள் மீட்சி எல்லைக்குள் உள்ளதாகச் சொல்லலாம். எல்லா பொருள்களிலும் செயல்படும் விசையின் அளவு ஓரளவு உள்ளவரைதான் பொருள் மீட்சி எல்லைக்குள் இருக்கும். இந்த அளவிற்கு மேல் விசையின் அளவு அதிகரிக்குமாயின் பொருள் தன் தொடக்கநிலையை வந்தடையாது. அப்பொழுது அப் பொருள் மீட்சி எல்லையைக் கடந்துவிட்டதாகக் கொள்ளவேண்டும்.

"மீட்சி எல்லைக்குள் பொருளொன்றின் மீது செயற்படும் தகைவும் அதன் பேரில் விளையும் திரிபும் நேர்விகிதத்திலுள்ளன." மீட்சியியலின் இவ் வடிப்படைக் கொள்கையை ராபர்ட் ஹூக் என்பவர் கண்டறிந்தார். அவர் பெயரால் இது ஹூக் விதி என அழைக்கப்படுகிறது.

ஹூக் விதியின்படி,

$$\text{தகைவு} \propto \text{திரிபு}$$

எனவே

$$\frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} = \text{மாறிலி}$$

இம் மாறிலி பொருளின் மீட்சிக் குணகம் (Modulus of Elasticity) எனப்படும்.

பரிமாணத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டு மீட்சிக் குணகம் மூவகைப்படும். அவையாவன:

(1) யங் குணகம் (Young's Modulus): நீட்சித் தகைவுக்கும் நீட்சித் திரிபிற்கும் உள்ள தகவு யங் குணகம் எனப்படும்.

$$\text{யங் குணகம் } q = \frac{\text{நீட்சித் தகைவு}}{\text{நீட்சித் திரிபு}}$$

f என்ற விசை பரப்பளவு a-ன் மீது செயற்பட்டுத் தொடக்க நீளம் L உள்ள ஒரு கம்பியில் நீட்சி e ஐ விளைவித்தால்,

$$\text{யங் குணகம் } Q = \frac{f/a}{e/L}$$

$$Q = \frac{fL}{ae}$$

(2) விறைப்புக் குணகம் (Rigidity Modulus): தொடுவியல் தகைவுக்கும் (Tangential Stress), இதனால் விளையும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபிற்கும் (Shearing strain) உள்ள தகவு விறைப்புக் குணகம் எனப்படும்.

$$\text{விறைப்புக் குணகம் } n = \frac{\text{தொடுவியல் தகைவு}}{\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு}}$$

(3) பருமக் குணகம் (Bulk Modulus): பருமத் தகவுக்கும், பருமத் திரிபிற்கும் உள்ள தகவு பருமக் குணகம் எனப்படும்.

$$\text{பருமக் குணகம் } k = \frac{\text{பருமத் தகைவு}}{\text{பருமத் திரிபு}}$$

திரிபும், செய்யப்படும் செயலும்

ஒரு பொருளில் உருவமாற்றத்தை விளைவிக்க அதன்மீது செயற்பட்ட விசை, வேலை அல்லது செயல் செய்திருக்கவேண்டும். அப்படிச் செலவிடப்பெற்ற ஆற்றல் அப் பொருளிலேயே தேக்கி வைக்கப்பட்டு இருக்கும். அது திரிபு ஆற்றல் (Energy Strain) எனப்படும். நீட்சித் திரிபில் அப்படிச் செய்யப்படும் செயலின் அளவினை இங்குக் காண்போம்.

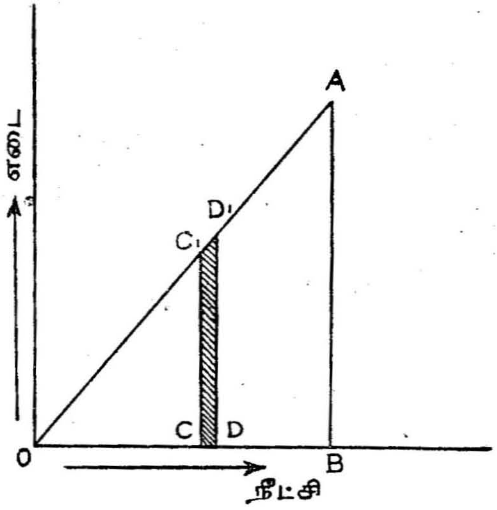
மீட்சி எல்லைக்குள் கம்பியின் நீட்சி அக் கம்பியில் செலுத்தப்பட்ட எடைக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இதனை OA என்ற நேர்கோட்டால் வரைப்படத்தில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இப்பொழுது ஏதாவது ஒரு நிலையில் CC_1 என்ற எடையை எடுத்துக்கொள்வோம். அருகில் உள்ள DD_1 என்ற நிலைக்குக் கம்பி வரும்பொழுது கம்பியானது CD என்ற நீட்சியினை அடைந்துள்ளது. இப்பொழுது CC_1-ம், DD_1-ம் கிட்டத்தட்ட சமமாக இருந்தால் CD என்ற நீட்சிக்குரிய செயல் = விசை × நகர்ந்த தூரம் (= நீட்சி)

$$= CC_1 \times CD$$

$$= \text{பரப்பு } CD\,D_1C_1$$

∴ CD என்ற நீட்சியினை அடைவதற்குக் கம்பியில் செய்யப்பட்ட செயல் = பரப்பு $CD\,D_1C_1$

இப்பொழுது OB நீட்சியைக் கம்பியில் பெறுவதற்குக் கம்பியில் செலுத்தப்படவேண்டிய செயல்



படம் 11. நீட்சி - வரைபடம்

$$W = \Sigma\, CDD_1C_1$$

= பரப்பு OBA

$= \frac{1}{2} \times OB \times AB$

= $\frac{1}{2}$ × மொத்த நீட்சி × மொத்த எடை

இந்தச் செயல்தான் கம்பியில் ஆற்றலாக உள்ளது. எனவே செயல்,

$W = \frac{1}{2}$ × மொத்த எடை × மொத்த நீட்சி

$W = \frac{1}{2} \times$ (மொத்த எடை × மொ. நீட்சி × கம்பி நீட்சியடையாத போதுள்ள பருமன்) / (கம்பி நீட்சியடையாதபோதுள்ள பருமன்)

ஆனால் கம்பி நீட்சியடையாத போதுள்ள பருமன் } = குறுக்குப் பரப்பு × தொடக்க நீளம்

$$\therefore W = \frac{1}{2} \times \frac{\text{மொத்த எடை}}{\text{குறுக்குப்பரப்பு}} \times \frac{\text{மொ. நீட்சி}}{\text{தொடக்க நீளம்}} \times \text{கம்பி நீட்சியடையாதபோதுள்ள பருமன்.}$$

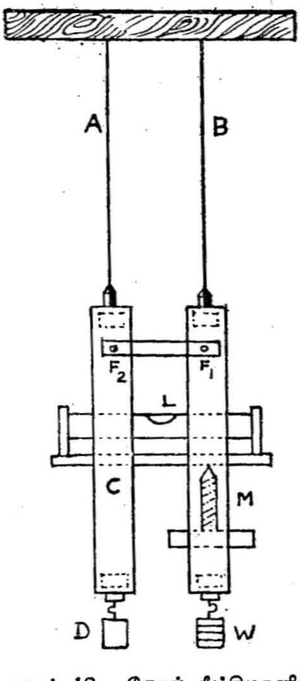
$$= \frac{1}{2} \times \text{தகைவு} \times \text{திரிபு} \times \text{கம்பி நீட்சியடையாதபோதுள்ள பருமன்.}$$

எனவே ஓரலகு பருமனில் தொழிற்படும்

$$\text{செயல்} = \frac{1}{2} \times \text{தகைவு} \times \text{திரிபு}$$

யங் குணகம் காணல்

சேர்ல் நீட்சிமானி (Searle's extensometer): கம்பியொன்றின் யங் குணகத்தைச் சேர்ல் நீட்சிமானி கொண்டு காணலாம். படத்தில் காட்டியுள்ளபடி ஒரே பருப்பொருள், நீளம், குறுக்குப் பரப்புக் கொண்ட இரு கம்பிகள் $(A_1 B)$ உச்சியில் பொருத்தித் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் கீழ் முனைகளில் உலோகச் சட்டங்களிரண்டு (F_1, F_2) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. A என்ற கம்பியிலிருந்து மாரு எடை (D) ஒன்றும், Bயிலிருந்து எடை தாங்கி (W) ஒன்றும் தொங்குகின்றன. A கம்பியை ஒப்புக் கம்பியெனவும், B கம்பியை ஆய்வுக்குரிய கம்பியெனவும் கொள்வோம். இரு உலோகச் சட்டங்களும் ஓர் இரசமட்டத்தைத் (L) தாங்குகின்றன. இரசமட்டம் ஒரு முனையில் ஒரு சட்டத்துடன் C என்ற முனையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மற்ற முனை F_1 சட்டத்தில் அமைந்துள்ள மைக்ரோமீட்டர் திருகின்மேல் அமைந்துள்ளது. இத் திருகாணி உதவி கொண்டு இரசமட்டம் கிடைமட்டத்திலிருக்கும்படி செய்து மைக்ரோமீட்டர் காட்சிப் பதிவுகளைக் குறிப்போம்.



படம் 12. சேர்ல் நீட்சிமானி

எடைதாங்கி W-ல் எடைகளைப் பல தடவை ஏற்றி இறக்கிக் கம்பி Bயினை மீட்சி நிலைக்குக் கொண்டுவர வேண்டும். பின்னர் ஒவ்வொரு கிலோகிராம் எடையாக எடைத்தாங்கியில் ஏற்றி ஒவ்வொரு முறையும் திருகாணி கொண்டு திரும்பவும் இரசமட்டத்தினை

கிடைமட்டத்திற்குக் கொணர்ந்து மைக்ரோமீட்டர் காட்டும் அளவினைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இதே போன்று எடைகளை ஒவ்வொன்றாக இறக்கும்போதும் இரசமட்டத்தினைக் கிடைமட்டத்திற்குக் கொணர்ந்து மைக்ரோமீட்டர் அளவினைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். பின்னர் காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப் படுத்தவேண்டும்.

வரிசை எண்	எடை கி. கிராம்	மைக்ரோமீட்டர் காட்சிப்பதிவு			நீட்சி (e) 4 கிலோ கிராமுக்கு
		எடை அதிகமாக	எடை குறைய	சராசரி	
1	W				
2	$W+1$				
3	$W+2$				
4	$W+3$				
5	$W+4$				
6	$W+5$				
7	$W+6$				
8	$W+7$				

சராசரி =

அட்டவணைகளிலிருந்து 4 கிலோகிராம் எடைக்கு ஏற்பட்டுள்ள சராசரி நீட்சியைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும்.

கம்பியின் தொடக்க நீளம் $= L$

கம்பியின் ஆரம் $= r$

கம்பியின் குறுக்குப் பரப்பளவு $a = \pi r^2$

நீட்சித் தகைவு $= f/a$

இங்கு $f = Mg$

$a = \pi r^2$ ம் ஆகும்

நீட்சித் திரிபு $= \frac{e}{L}$

∴ யங் குணகம் $q = \frac{f/a}{e/L}$

$$= \frac{fL}{ae}$$

$$= \frac{MgL}{\pi r^2 e}$$

$$\therefore \; q = \frac{4000 \; g L}{\pi r^2 e}$$

எடைத்தாங்கியில் ஏற்றப்படும் எடை கம்பியின் மீட்சி எல்லைக்குள் இருக்கவேண்டும் என்பதனை நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 2·5 மீட்டர் நீளமும், 1·6 மி.மீ. விட்டமும் கொண்ட எஃகுக் கம்பியின் நீட்சி 5 கிலோகிராமிற்கு 0·028 செ.மீ. ஆக உள்ளது என்றால் கம்பிப் பொருளின் யங் குணகம் காண்க.

கம்பியின் தொடக்க நீளம் = 2·5 மீட்டர்

= 250 செ.மீ.

கம்பியின் விட்டம் = 1·6 மி.மீ.

∴ ஆரம் = 0·08 செ.மீ.

5 கிலோகிராமிற்குரிய நீட்சி = 0·028 செ.மீ.

தகைவு $= \frac{5000 \times 980}{\pi \times (0{\cdot}08)^2}$ $\frac{\text{டைன்கள்}}{\text{ச.செ.மீ.}}$

திரிபு $= \frac{0{\cdot}028}{250}$

யங் குணகம் $q = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$

$$\therefore \; q = \frac{5000 \times 980 \times 250}{\pi \times (0{\cdot}08)^2 \times 0{\cdot}028}$$

$= 21{\cdot}8 \times 10^{11}$ டைன்கள்/ச. செ.மீ.

(2) 2 மீட்டர் நீளமும், 1·68 மி.மீ. விட்டமுடைய எஃகுக் கம்பியொன்றின் மீது எவ்வளவு கி. கிராம் எடை விசையைச் செயல்படுத்தினால் 1 மி.மீ. நீட்சி கிடைக்கும்?

(எஃகின் யங் குணகம் $= 2 \times 10^{12}$ டைன்கள் / ச. செ.மீ.)

கம்பியின் தொடக்க நீளம் = 200 செ.மீ.

கம்பியின் நீட்சி = 0·1 செ.மீ.

கம்பியின் ஆரம் = 0·084 செ.மீ.

செயற்படுத்தவேண்டிய எடையை W கிலோகிராம் எனக் கொள்வோம்.

W கிலோகிராம் $= W \times 1000$ கிராம்கள்.

எனவே தகைவு $= \dfrac{W \times 1000 \times 980}{\pi \times (0{\cdot}084)^2}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

திரிபு $= \dfrac{0{\cdot}1}{200}$

γ குணகம் $q = \dfrac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$

$$2 \times 10^{12} = \frac{W \times 1000 \times 980 \times 200}{\pi \times (0{\cdot}084)^2 \times 0{\cdot}1}$$

$$\therefore W = \frac{2 \times 10^{12} \times \pi \times (0{\cdot}084)^2 \times 0{\cdot}1}{1000 \times 980 \times 200}$$

$$= \frac{2 \times 10^{12} \times \pi \times (0{\cdot}084)^2 \times 0{\cdot}1}{2 \times 10^5 \times 980}$$

$$= \frac{10^7 \times \pi \times (0{\cdot}084)^2 \times 0{\cdot}1}{980}$$

$= 22{\cdot}62$ கிலோகிராம்கள்.

எனவே 22·62 கிலோகிராம் எடையை அக் கம்பியில் செயல் படுத்த வேண்டும்.

3. மீட்டர் தொடக்க நீளமும், 1 மி.மீ. விட்டமும் கொண்ட ஓர் எஃகுக் கம்பியில் 2 மி.மீ. நீட்சியினை விளைவிக்கச் செய்யப்படும் செயல் (Work) எவ்வளவு?

எஃகின் $q = 2 \times 10^{12}$ டைன்/ச.செ.மீ.

செயல் $= \frac{1}{2} \times$ தகைவு $\times$ திரிபு $\times$ கம்பி நீட்சி அடையாத போது இருந்த பரும அளவு.

ஆனால் $q = \dfrac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$

தகைவு $= q \times$ திரிபு

$\therefore$ செயல் $= \frac{1}{2} \times q \times (\text{திரிபு})^2 \times$ கம்பி நீட்சி அடையாத போது இருந்த பரும அளவு

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{12} \times \frac{0{\cdot}2}{300} \times \frac{0{\cdot}2}{300} \times \pi \times 0{\cdot}05 \times 0{\cdot}05 \times 300$$

$= 1{\cdot}047 \times 10^6$ எர்குகள்.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

(1) 2·8 மீட்டர் நீளமும், 2 மி.மீ. விட்டமும் கொண்ட ஒரு கம்பியில் 9 கிலோகிராம் எடையைத் தொங்கவிடும்போது அது 0·55 மி.மீ. நீட்சியடைகிறது என்றால், அக் கம்பிப் பொருளின் யங் குணகத்தினைக் கணக்கிடுக.

(2) 1·5 மி.மீ. விட்டமுடைய எஃகுக் கம்பியொன்று எவ்வளவு எடையைத் தாங்கினால் அக் கம்பியின் நீட்சி கம்பியின் தொடக்க நீளத்தைப்போல் 0·2% இருக்கும்?

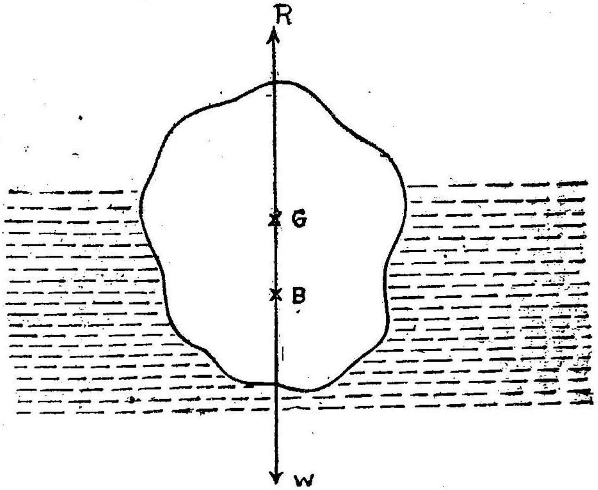
[எஃகின் யங் குணகம் $= 2 \times 10^{12}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.]

(3) 20 மீட்டர் நீளமும் 10 செ.மீ. அகலமும் 8 செ.மீ. தடிமனும் கொண்ட ஓர் எஃகுத் தண்டவாளம் 20°C வெப்பநிலையில் உள்ளது. வெப்பநிலை 30°C-க்கு உயரும்போது எவ்வளவு விசையைச் செயல்படுத்தினால் அதன் நீளம் மாருமலிருக்கும்? கம்பிப் பொருளின் நீள் விரிவு எண் $= 11 \times 10^{-6}$; யங் குணகம் $= 2 \times 10^{12}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

3. நிலைத்திரவவியல்

மிதவையும் கப்பல்களின் நிலைப்பாடும்

மிதவைப் பொருள்: பொருளொன்று ஒரு திரவத்தினுள் தடையின்றி மிதக்கும்பொழுது அப் பொருளின் மீது இரு விசைகள் செயல்பட்டு அப் பொருளைச் சமநிலையில் வைக்கின்றன. அவ் விசைகளாவன: (1) பொருளின் ஈர்ப்பு மையம் G வழியே செங்குத்தாகக்



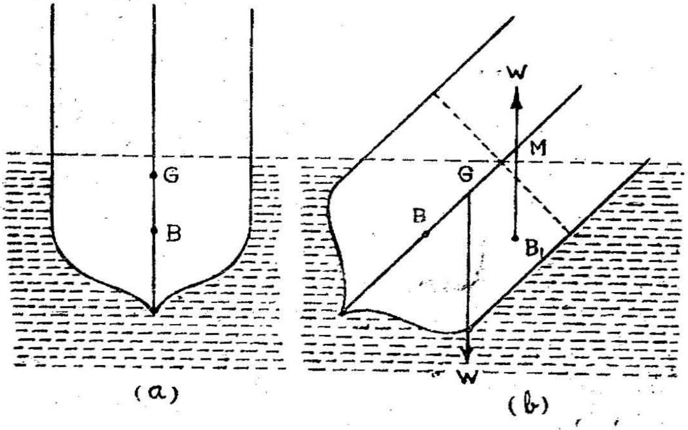
படம் 13. திரவத்தினுள் ஒரு மிதவைப் பொருள்

கீழ்நோக்கி இயங்கும் அதன் எடை W. (2) மிதவையினால் இடம் பெயர்ந்த திரவத்தின் எடைக்குச் சமமான மேல் நோக்கிய விசை R. இது மிதவைத்திற மையம் B (Centre of Buoyancy) வழியே மேல் நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

இவ்விரு விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த் திசையில் செயல்பட்டுப் பொருளைச் சமநிலையில் வைப்பதால் இந்த இரு எதிர் விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று சமம். அதாவது $W = R$. மேலும் B-யும், G-யும் ஒரே செங்குத்துக் கோட்டில் அமையவேண்டும். இல்லையெனில் அந்த இரு விசைகளும் ஓர் இரட்டையை (Couple) ஏற்படுத்தி அப் பொருளைக் கவிழச் செய்துவிடும்.

மிதத்தல் விதிகள்: (1) மிதக்கும் பொருளின் எடை அப் பொருளினால் இடம்பெயர்ந்த திரவத்தின் எடைக்குச் சமம். (2) மிதக்கும் பொருளின் ஈர்ப்பு மையமும் மிதவைத்திற மையமும் (இடம் பெயர்ந்த திரவத்தின் ஈர்ப்பு மையமும்) ஒரே செங்குத்துக் கோட்டில் இருக்க வேண்டும்.

மிதக்கும் பொருள்களின் உறுதிநிலை (Stability of floating bodies): ஒரு பொருள் திரவத்தினுள் தடையின்றித் தானாகவே



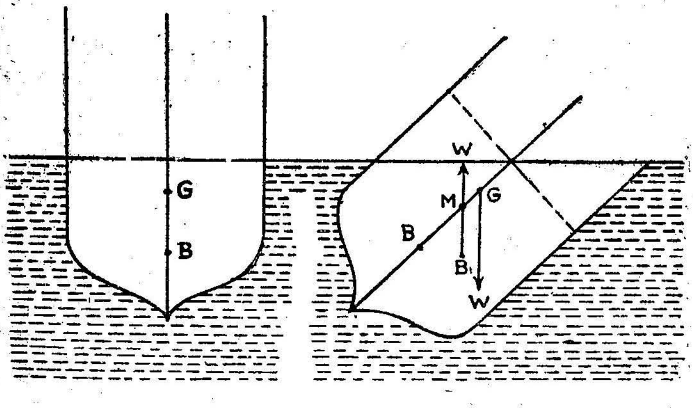
படம் 14. மிதவையின் உறுதிநிலை

மிதக்கும்பொழுது அது சமநிலையில் இருந்தால், ஈர்ப்பு மையம் G-யும், மிதவைத்திற மையம் B-யும் ஒரே செங்குத்துக் கோட்டில் அமையும்.

இப்பொழுது பொருள் சிறிது வலப் புறமாகச் சாய்வதாகக் கொள்வோம். பொருளின் எடை மாறாது இருப்பதால் இடம் பெயர்ந்த திரவத்தின் எடை மாறாமல் இருக்கும். ஆனால் மிதவைத் திற மையம் Bயிலிருந்து B_1 என்ற இடத்திற்கு இடம் பெயர்ந்திருக்கும். B_1-லிருந்து செங்குத்துக்கோடு வரைந்தால் அக் கோடு BG

கோட்டை M என்ற புள்ளியில் சந்திக்கும். இப் புள்ளி M-ஐ மிதவைக் காப்பு மையம் (Metacentre) என்றும், உயரம் MG-ஐ மிதவைக் காப்பு உயரம் (Metacentric height) என்றும் கூறப்படுகின்றன. இப்பொழுது மிதவையின் எடை (W) ஈர்ப்பு மையம் (G) வழியே செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கியும், W-விற்குச் சமமான மேல் நோக்கிய அமுக்கம் B_1 வழியாகவும் செயற்படுகின்றன. இதனால் அம் மிதவையின் மீது ஓர் இடஞ்சுழி இரட்டை ஏற்பட்டு மிதவையைப் பழைய நிலைக்குக் கொண்டு வருகிறது. இந்த வகையில் பொருள் உறுதிச் சமநிலையில் உள்ளது எனலாம்.

மாறாகப் படம் 15-(b)யில் உள்ளது போல் M என்ற புள்ளி B-க்கும், G-க்கும் இடையில் இருந்தால் அப்போது மிதவையின்மீது வலஞ்சுழி இரட்டை உண்டாகும். இதனால் மிதவை மேலும் மேலும் சாய்ந்து திரவத்தினுள் அமிழ்ந்துவிடும். எனவே இங்குப் பொருள் உறுதியிலாச் சமநிலையில் உள்ளது எனலாம். ஆகையால்



(a) (b)

படம் 15. மிதவையின் உறுதியிலா நிலை

$BM > BG$ என்பது உறுதிச் சமநிலைக்குரிய நிபந்தனையாகும். மாறாக $BM < BG$ என்றிருந்தால் சமநிலை உறுதியில்லாததாகும். ஆதலால், மிதவைச் சமநிலையில் இருப்பதற்கு மிதவையின் ஈர்ப்புமையம் மிகவும் தாழ்வாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாகக் கப்பல்கள் சமநிலையில் உறுதியாக இருக்க எடைகள் எப்போதும் கப்பல்களின் அடிப்பாகத்தில் வைக்கப்படுகின்றன. இதனால் கப்பலின் ஈர்ப்பு மையம் தாழ்ந்து BG-யின் மதிப்புக் குறைகிறது.

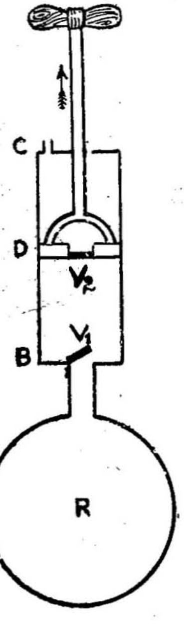
பிலிம்சால் கோடு (Plimsoll Line): ஒரு கப்பலில் ஏற்றிச்செல்லக் கூடிய சரக்குகளின் பெரும் எடையை அக் கப்பலின் பார அளவு

(Tonnage) எனக் கூறுவர். இந்த அளவு, கப்பல் பாதுகாப்பான ஆழம் வரை எடை ஏற்றும்பொழுது இடம் பெயர்ந்த நீரின் எடைக்கும், எடை இராநிலையில் இடம் பெயர்ந்த நீரின் எடைக்கும் உள்ள வேறுபாட்டிற்குச் சமம். ஒவ்வொரு கப்பலிலும் பார அளவிற்கு அதிகப்படியான சரக்குகளை ஏற்றிவிடாமலிருக்க அதன் பக்கங்களில் அகலமான கிடைமட்டக் கோடு ஒன்று வரையப்பட்டிருக்கும். இக் கோட்டிற்குப் பிலிம்சால் கோடு (Plimsoll line) எனப் பெயர். இக் கோடுவரை கப்பல் மூழ்கியிருக்குமாறு தேவையான பாரங்களை ஏற்றிக்கொண்டால் கப்பல் எப்போதும் உறுதிச் சமநிலையில் இருக்கும்.

7. உயர் வெற்றிடம்-ஆக்கலும் அளவிடலும் (Production and Measurement of High Vacuum)

ஸ்மித் காற்றுப் பம்பு

இப் பம்பில் BC என்ற குழாயும் D என்ற உந்து தண்டும் உள்ளன. உந்து தண்டு இயங்கும்பொழுது வெளியிலிருந்து காற்றுப் புகாதபடி அது இறுகலாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.



படம் 16.
ஸ்மித் காற்றுப் பம்பு

குழாயின் அடிப்பாகத்தில் V_1 என்ற வால்வும், உந்து தண்டில் V_2 என்ற வால்வும் உள்ளன. இவை இரண்டும் மேல்நோக்கித் திறக்கும் வகையில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. உந்து தண்டு B-யிலிருந்து C-க்கு இழுக்கப்படும்போது குழாயினுள் உள்ள காற்றின் அழுத்தம் குறைகிறது. எனவே V_2 மூடிக் கொள்ளும். கொள்கலத்திலுள்ள காற்று V_1-ஐத் திறந்துகொண்டு V_2-க்கும் D-க்கும் இடையேயுள்ள இடத்திற்கு வரும். உந்து தண்டு கீழே இறக்கப்படும்போது V_1 மூடிக் கொள்வதால் குழாயில் உள்ள காற்று அழுத்தப்படுகிறது. எனவே V_2-ஐத் திறந்து கொண்டு D-க்கும் C-க்கும் இடையேயுள்ள இடத்திற்குச் செல்கிறது. மறுபடியும் உந்து தண்டு மேலே இழுக்கப்படும்போது கொள்கலத்திலுள்ள காற்றுக் குழாயினுள்செல்லும். DC-யிலுள்ள காற்று C-க்கு அருகிலுள்ள ஒரு வாயில் வழியே வெளியே செல்லும். கீழே இறக்கப்படும்போது குழாயிலுள்ள காற்று அழுத்தப்பட்டு V_2-ஐத் திறந்து கொண்டு மேலே சென்று

விடும். எனவே ஒவ்வொரு கீழ்நோக்கு வீச்சிலும் குழாயின் கொள்ளளவிற்குச் சமமான காற்று வெளியேற்றப்படுகிறது. இதனால் கொள்கலத்திலுள்ள காற்று வெளியேற்றப்பட்டு அதிலுள்ள அழுத்தம் படிப்படியாகக் குறைகிறது.

n-வீச்சுகளுக்குப் பிறகு கொள்கலத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்தம்

கொள்கலம், குழாய் இவைகளின் கொள்ளளவை முறையே V, v எனக் கொள்வோம். தொடக்கநிலையில் கொள்கலத்தில் காற்றின் அழுத்தம் ρ எனவும், முதல் வீச்சின் இறுதியில் P_1 எனவும் கொள்வோம். எனவே ஒரு வீச்சிற்குப் பிறகு P என்ற அழுத்தத்தில் V கன அளவு கொண்ட காற்று P_1 என்ற அழுத்தத்தில் $(V+v)$ ஆக மாறுகிறது. $(P_1 < P)$

பாயிலின் விதிப்படி,

$$\rho V = \text{மாறிலி},$$

$$\rho V = \rho_1 \, (V+v)$$

$$\rho_1 = \rho\left(\frac{V}{V+v}\right)$$

கீழ்நோக்கு வீச்சின்போது கொள்கலத்தில் அழுத்தத்தில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படாது. இரண்டாவது மேல் நோக்கு வீச்சின் இறுதியில் அழுத்தம் P_2 என்றால் P_1 என்ற அழுத்தத்தில் V கன அளவுள்ள காற்று P_2 என்ற அழுத்தத்தில் $(V+v)$ ஆகும்.

எனவே,

$$\rho_1 V = \rho_2 \, (V+v)$$

$$\therefore \quad \rho_2 = \rho_1\left(\frac{V}{V+v}\right)$$

ஆனால்,

$$\rho_1 = \rho \left(\frac{V}{V+v}\right)$$

இதனை P_2-வில் பதிவீடு செய்தால்

$$\rho_2 = \rho\left(\frac{V}{V+v}\right)\left(\frac{V}{V+v}\right)$$

$$\rho_2 = \rho\left(\frac{V}{V+v}\right)^2$$

எனவே n வீச்சுகளுக்குப் பிறகு அழுத்தம்

$$Pn = P\left(\frac{V}{V+n}\right)^n$$

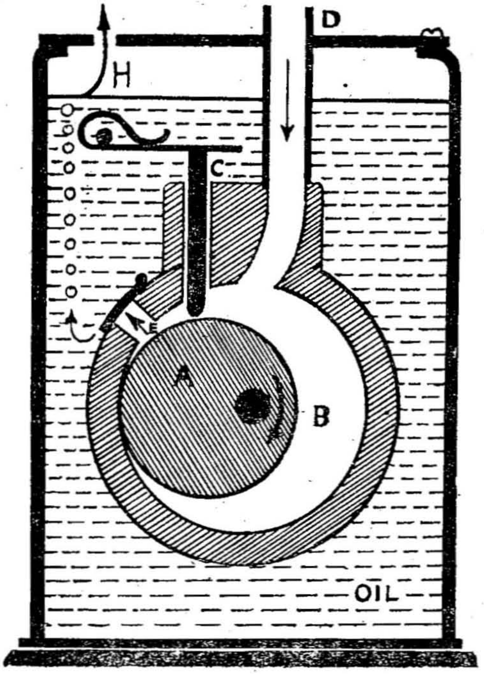
இந்த ஸ்மித் பம்பில் காற்றழுத்தத்தை ஒரு சில மி.மீ. அழுத்தத்திற்குக் கீழ் குறைக்க இயலாது. அதாவது உயர் வெற்றிடத்தை இப் பம்பினால் ஏற்படுத்த இயலாது. பின்னால் உருவாக்கப்பட்ட ஸ்பிரஞ்சல் பாதரசப் பம்பு, டாப்ளர் பம்பு போன்றவைகளினால் அழுத்தத்தை 10^{-4} மி.மீ. வரைதான் குறைக்க முடிந்தது.

மேற்கூறிய பம்புகளில் மிக அதிக அளவில் காற்றை நீக்க முடிந்தாலும் அவைகளை இயக்குவது மிகவும் கடினமானதாலும், காலம் அதிகமாவதாலும் இப்பொழுதெல்லாம் சென்கோ உயர் வெற்றிடப் பம்பைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். இதன் மூலம் வெகு விரைவில் ஏறத்தாழ 10^{-3} மி.மீ. அழுத்தத்தை அடைய முடியும். இவ்வகையான பம்புகள் உயர் வெற்றிட பம்போடு கூட்டாக அமைந்து செயல்படும்போது முன்னோடிப் பம்புகள் என்றழைக்கப் படுகின்றன. இவ்வகைக் கூட்டு அமைப்பால் 10^{-6} மி.மீ. பாதரச அழுத்தம்வரை அடையலாம். இந்த உயர் வெற்றிடப் பம்பு மட்டும் தனியே வளியழுத்தத்திலிருந்து செயல்படா. முன்னோடிப் பம்பின் கூட்டு அமைப்பால் மட்டுமே வளியழுத்தத்திலிருந்து செயல்பட இயலும்.

சென்கோ உயர் வெற்றிடப் பம்பு (Cenco Hyvac Pump): இதில் A என்ற கெட்டியான உருளை ஒன்று B என்ற உள்ளீடற்ற உருளை வடிவப் பெட்டியினுள் அதனுடைய அச்சைப் பற்றி உரல் வட்டமாக (Eccentrically) சுழலுகிறது. உருளை A சுழலுவதால் அது சுழலி (Rotor) என்றும், உருளை B நிலையாக இருப்பதால் அது நிலையி என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு சுழலி A சுழலும் போது B என்ற நிலையினுடைய உட்புறத்தைத் தொட்டுக் கொண்டே சுழலும். உருளை B-யில் அடுத்தடுத்து D, E என்ற இரு வாயில்கள் உள்ளன. காற்று நீக்கப்பட வேண்டிய கொள்கலம் D-யுடன் இணைக்கப்படும். E-யில் மேல்நோக்கித் திறக்கக்கூடிய வால்வு ஒன்று உண்டு. இதன் வழியே காற்று வெளியேறும். C என்ற தகடு, உருளை A-யில் அழுந்தியிருக்குமாறு சுருள் வில் ஒன்றினால் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. காற்றுக் கசியாதபடி இந்தப் பம்பு படத்தில் காட்டியவாறு எண்ணெயில் மூழ்கியிருக்கும்.

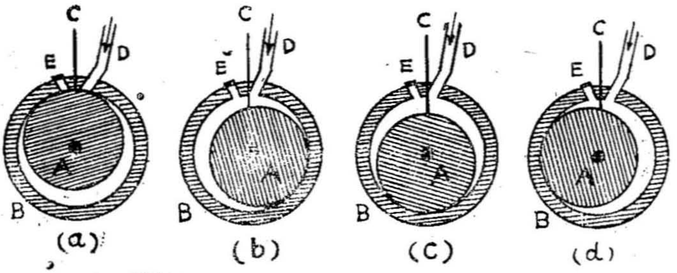
சுழலி சுழலும்போது தனக்கு முன்பாக உள்ள காற்றைத் தள்ளிச் சென்று, கடைசியாக வால்வின் வழியே வெளியே தள்ளி

விடுகிறது. காற்று மறுபடியும் கலத்தின் உள்ளே போகாதபடி தகடு C தடுத்து விடுகிறது. காற்றுத் தள்ளப்பட்டுச் செல்வதால் சுழலிக்குப் பின்புறமாக அழுத்தம் குறைகிறது. கலத்திலுள்ள காற்று விரிந்து



படம் 17. சென்கோ உயர் வெற்றிடப் பம்பு

இந்த இடத்தை அடைகிறது. இவ்வாறு சுழலி ஒருமுறை சுழலும் போது சிறிது காற்றுக் கலத்திலிருந்து வெளியேற்றப்படுகிறது. சுழலி

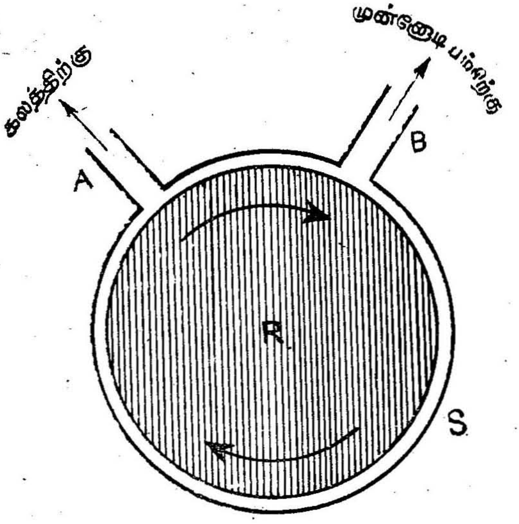


படம் 18. சுழலியின் வெவ்வேறு நிலைகள்

சுழலும்போது உள்ள வெவ்வேறு நிலைகளைப் படம் 18 எடுத்துக் காட்டுகிறது.

உருளை மின்சார மோட்டாரால் வெகு வேகமாகச் சுழலுவதால் சில நிமிடங்களில் கலத்தின் அழுத்தம் வளியழுத்தத்திலிருந்து 10^{-3} மி.மீ. ஆகக் குறைந்து விடுகிறது.

மூலக்கூறு பம்பு (Molecular Pump): உருளை வடிவிலான ஒரு சுழலி S என்ற நிலையான உள்ளீடற்ற உருளையினுள் (நிலையி) சுழல்கிறது. உருளை S-ன் ஒரு வாய் (A) கலத்துடனும், மறு வாய் (B) முன்னோடிப் பம்பு ஒன்றுடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

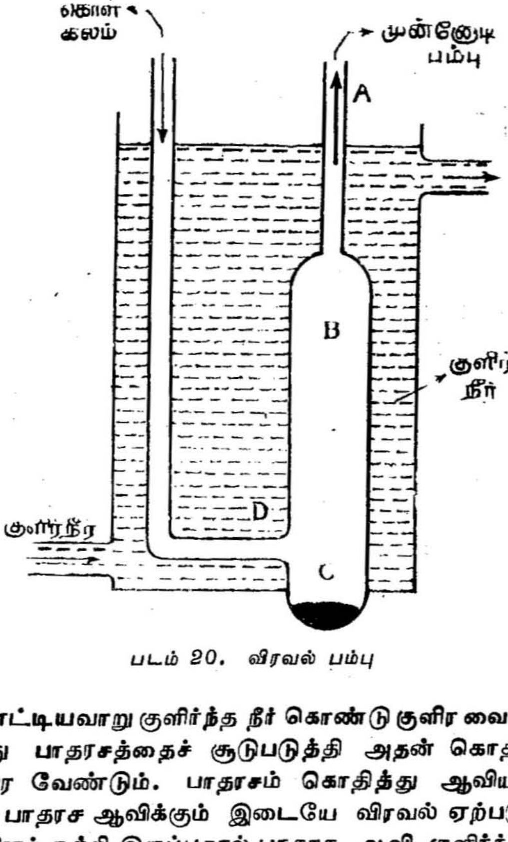


படம் 19. மூலக்கூறு பம்பு

முன்னோடிப் பம்பின் உதவியால் கலத்திலுள்ள காற்றழுத்தம் வெற்றிடத்தருவாயில் (Fore vacuum pressure) இருத்தப்பட்டுள்ளது. எனவே கலத்துள் உள்ள மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (Mean free path) சுழலிக்கும் நிலையிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவைவிட மிக அதிகமாகிறது. மிகுந்த விரைவில் சுழலும் சுழலியை அணுகும் வாயு மூலக்கூறுகள், சுழலியின் திசை வேகத்தை ஏற்க அவை முன்னோடிப் பம்பினுல் வெளித் தள்ளப்படும்.

சுழலியை மிக வேகமாக மின்சார மோட்டாரைக்கொண்டு சுழலச் செய்யலாம். சுழலியின் வேகம் விநாடிக்கு 10,000 சுற்றுகளாக உள்ளபோது முன்னோடிப் பம்பினுல் 1 முதல் 2 மி.மீ. பாதரச அழுத்தத்தை உருவாக்கிய கலத்தினுள் 10^{-6} மி.மீ. பாதரச அழுத்தத்தை உண்டாக்கலாம்.

* 'விரவல் பம்பு (Diffusion Pump): தடித்த கண்ணுடிச் சுவர் களால் ஆன B என்ற குழாயினுள் C என்ற இடத்தில் சிறிதளவு பாதரசம் வைக்கப்பட்டிருக்கும். B குழாயின் பக்கவாட்டில் D என்ற மற்ருெரு குழாய் இணைக்கப்பட்டு இதில் கொள்கலம் இணைக்கப்பட் டிருக்கும். குழாயின் மேல் முனை ஒரு முன்னேடிப் பம்புடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் பாதரசத்திற்கு மேல் உள்ள குழாயின் பகுதி



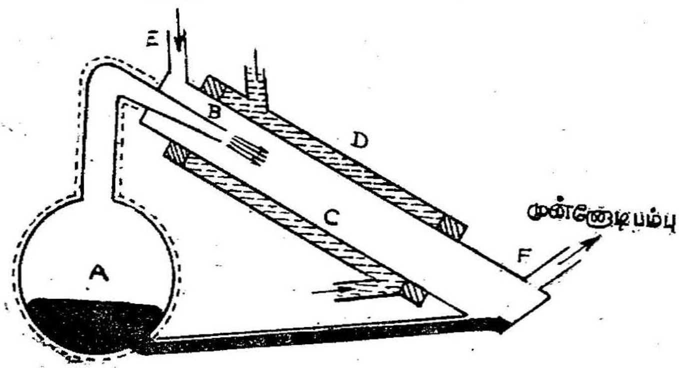
படம் 20. விரவல் பம்பு

படத்தில் காட்டியவாறு குளிர்ந்த நீர் கொண்டு குளிர வைக்கப்படும். இப்பொழுது பாதரசத்தைச் சூடுபடுத்தி அதன் கொதிநிலைக்குக் கொண்டுவர வேண்டும். பாதரசம் கொதித்து ஆவியானவுடன் காற்றிற்கும் பாதரச ஆவிக்கும் இடையே விரவல் ஏற்படும். குளிர் நீர் குழாயினைச் சுற்றி இருப்பதால் பாதரச ஆவி குளிர்ந்து மறுபடி யும் குழாயினை அடையும். ஆனுல் காற்று மட்டும் முன்னேடிப் பம்பின் மூலம் வெளியேற்றப்படும். இவ்வகைப் பம்புகளினுல் 10^{-6} மி.மீ. பாதரச அழுத்தம்வரை காற்றை நீக்கி, உயர் வெற்றி டத்தை உண்டாக்கலாம்.

* வாரன் பம்பு (Waran's Pump): மாநிலக் கல்லூரியின் முன்னுள் பௌதிகப் பேராசிரியர் டாக்டர் H. P. வாரன் (Dr.H. பரமேஸ்வரன்)

அவர்கள் உயர் வெற்றிடம் உண்டாக்க ஒரு பாதரச விரவல் பம்பை அமைத்தார்கள். இதன் உதவியால் வெகு சுலபமாக 10^{-6} மி.மீ. பாதரச அழுத்தத்தை உண்டாக்கலாம்.

இதில் *A* என்ற குடுவையினுள் பாதரசம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் குடுவையுடன் முனைக்கூரான *B* என்ற கண்ணாடிக் குழாய்



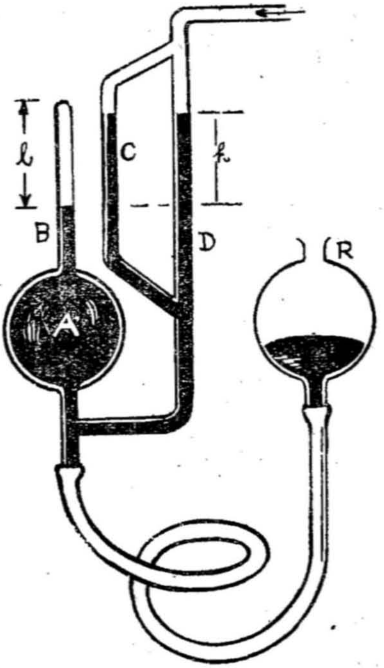
படம் 21. வாரன் பம்பு

இணைக்கப்பட்டு அதன் வழியே பாதரசம் கொதிநிலைக்கு வரும் போது உண்டாகும் பாதரச ஆவி வருகிறது. அதிக வெப்பத்தைத் தாங்குவதற்காகக் குடுவையின் வெளிச் சுவரில் அஸ்பெஸ்டாஸ் போர்த்தப்பட்டுள்ளது. *B* குழாயின் வழியே வரும் பாதரச ஆவி *C* என்ற அகன்ற குழாயினை அடைகிறது. இந்த அகலமான குழாயினைச் சுற்றிக் குளிர் நீர் சூழ்ந்திருக்கும். காற்று நீக்கப்பட வேண்டிய கலம் கூர்முனைக்கு அருகிலுள்ள *E* என்ற பக்கவாட்டுக் குழாயுடனும், முன்னோடிப் பம்பு *F* என்ற பக்கவாட்டுக் குழாயுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

A என்ற குடுவையிலுள்ள பாதரசத்தைச் சூடேற்றிக் கொதிக்க வைக்கவேண்டும். காற்றிற்கும், பாதரச ஆவிக்கும் விரவல் ஏற்பட்டுக் காற்று மட்டும் முன்னோடிப் பம்பு வழியாக வெளியேற்றப் படும். பாதரச ஆவி குளிர்ந்து மற்றொரு குழாயின் மூலம் குடுவையை வந்தடையும். இவ்வாறாகக் காற்றிற்கும் பாதரச ஆவிக் கும் விரவல் தொடராக ஏற்படுவதால் கலத்தில் உயர் வெற்றிடம் உண்டாகிறது.

மெக்லியாடு அளவி (Mcleod Gauge): மிகவும் குறைந்த அளவு அழுத்தத்தை, அதாவது உயர் வெற்றிடத்தை அளப்பதற்கு இந்த

மெக்லியாடு அளவி மிகவும் பயன்படுகிறது. இதில் 500 க.செ.மீ. கொள்ளளவு கொண்ட A என்ற குமிழ் பக்கவாட்டில் உள்ள ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள D என்ற குழாயின் மூலம் அழுத்தத்தை அளவிட வேண்டிய கொள்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குமிழ் Aயின் மேல் பாகம் B என்ற மேல்முனை மூடிய சீரான நுண் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குழாய் D-க்கு இணையாக C என்ற மற்றொரு நுண்குழாயொன்று உள்ளது. நுண்குழாய்கள் B-யும் C-யும் ஒரே குறுக்களவுள்ள துளைகள் கொண்டவையாக இருக்கும். குமிழ் Aயின் அடிப்பாகம் உயர் அழுத்த ரப்பர் குழாயின் உதவியால் R என்ற பாதரச சேமக்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. B, C நுண் குழாய்களுக்கிடையில் நுண்குழாய்களுக்கு இணையாக ஓர் அளவுகோல் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.



படம் 22. மெக்லியாடு அளவி

கலத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தை அளப்பதற்குச் சேமக்கலத்திலுள்ள பாதரச மட்டம் குழாய் D குமிழ் A யுடன்சேருமிடத்திற்குக் கீழாக இருக்கும்படி வைத்துக் கொள்ளவும். இப்பொழுது கொள் கலத்திலுள்ள காற்று A என்ற குமிழிலும் இருக்கும். இதன் அழுத்தத்தை P எனக் கொள்வோம். பின்னர் சேமக்கலத்தை மெதுவாக உயர்த்த வேண்டும். இப்பொழுது பாதரசம் A என்ற குமிழியினுள் சென்று கொள்கலத்திற்கும் A-க்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பைத் துண்டித்துவிடும். இதனால் குமிழிலுள்ள காற்று அழுத்தப்படும். காற்றுத் தம்பத்தின் நீளம் l மி.மீ. எனக் குறித்துக் கொள்வோம். v_0 என்பது நுண்குழாயின் 1 மி.மீ. நீளத்தின் பருமஅளவானால் l மி.மீ. நீளமுள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் பரும அளவு $= lv_0$ குழாய்கள் B, D இவைகளிலுள்ள பாதரச மட்டங்களில் வேறுபாட்டை h மி.மீ. எனக் கொள்வோம். குமிழ் Aயின் பரும அளவை Vcc எனக் கொண்டால், பாயிலின் விதிப்படி,

$$pV = (p + h)\, lv_0$$

$$p\,(V - lv_0) = hlv_0$$

$$\therefore \qquad p = \frac{hlv_0}{V - lv_0}$$

lv_0 என்பதனை v எனக் குறிப்பிட்டால்

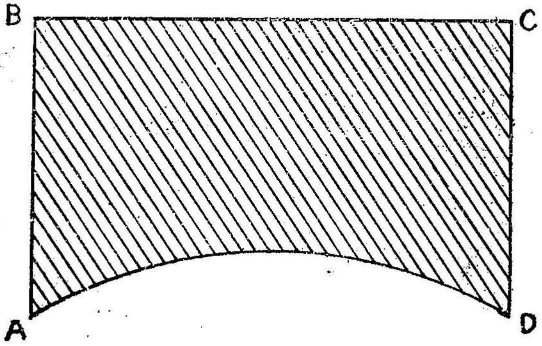
$$p = \frac{hv}{V - v}$$

இந்த அளவியின் மூலம் 10^{-5} மி.மீ. பாதரச அழுத்தம் வரையுள்ள உயர் வெற்றிடத்தை அளக்கலாம்.

4. பரப்பு இழுவிசை

(Surface Tension)

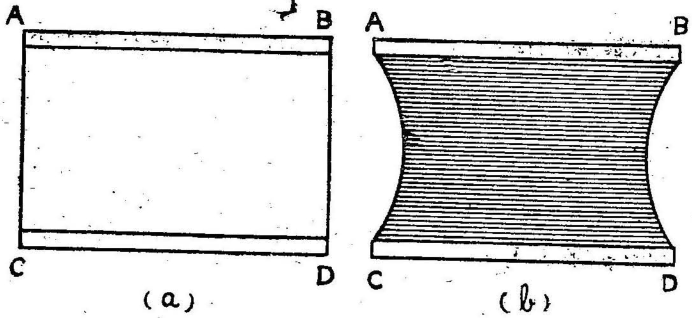
ஒரு திரவத்தின் மேற்பரப்பு இழுபட்டு நிற்கும் ஒரு சவ்வினை ஒத்திருக்கிறது. இயல்பாகவே, அது சுருங்கும் தன்மையை உடையதால் எப்பொழுதும் தன் மேற்பரப்பைச் சிறுமமாக ஆக்கிக்கொள்ள முயலும். திரவத்தின் இப் பண்பைச் செய்முறைகள் சில கொண்டு காண்போம்.



படம் 23.

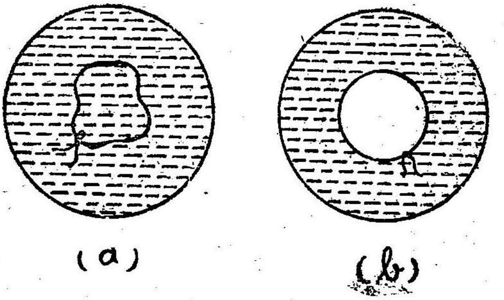
1. *ABCD* என்னும் ஒரு செப்புக் கம்பியைப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இருமுறை செங்குத்தாக வளைத்துக் கம்பியின் *AD* முனைகளை ஒரு பட்டு நூல் கொண்டு தளர்வாக இணைப்போம். பின்னர் இந்த அமைப்பைச் சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தி வெளியே எடுத்தோமானால் செப்புக் கம்பிக்கும், நூலுக்குமிடையே சோப்பின் மெல்லிய ஏடு (Soap film) ஒன்று இருப்பதைக் காணலாம். மேலும் *A, D* முனைகளை இணைக்கும் தளர்வான நூலானது தளர்வு நீங்கி விறைப்பாக வட்டவடிவில் உட்புறம் வளைந்து திரவத்தின் பரப்பைச் சிறுமமாக ஆக்கியிருப்பதையும் காணலாம்.

2. *CD* என்னும் கண்ணாடித் தண்டொன்று *AB* என்னும் மற்ெறாரு கண்ணாடித் தண்டிற்கு இணையாகப் படம் 24 (a)ல் காட்டியுள்ளபடி இரு செங்குத்தான பட்டு நூல்களால் தொங்கவிடப் பட்டுள்ளது இந்த அமைப்பைச் சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தி வெளியே எடுத்தோமானால் தண்டுகளுக்கும் நூல்களுக்கும்



படம் 24.

இடையே சோப்பின் மெல்லிய ஏடு ஒன்று இருப்பதைக் காணலாம். மேலும் இரு நூல்களும் தளர்வு நீங்கி விறைப்பாக வட்டவடிவில் உள் வளைந்து திரவத்தின் பரப்பைச் சிறுமமாக ஆக்கியிருப்பதையும் காணலாம்.

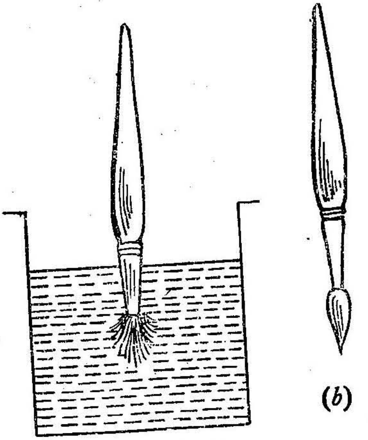


படம் 25.

(3) ஒரு செப்புக் கம்பினாலான வளையம் ஒன்றைச் சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தி, அவ் வளையத்தினுள் சோப்பின் மெல்லிய ஏடு ஒன்று இருக்குமாறு வெளியே எடுக்கவேண்டும். பின்னர் இரு முனையும் இணைக்கப்பட்ட ஒரு பட்டு நூலை அதே சோப்புக் கரைசலால் ஈரமாக்கி கம்பியிலுள்ள சோப்பு ஏட்டின்மீது மெதுவாக வைத்து நூலின் உட்புறத்தில் உள்ள ஏட்டை ஓர் ஊசியால் குத்தினால் அங்குள்ள ஏடு மறைந்து, நூல் வட்ட

வடிவத்தைப் பெறுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட சுற்றளவுக்கு வட்டத்தின் பரப்பே பெருமமாக இருப்பதால் கம்பி வளையத்திலுள்ள எஞ்சிய ஏட்டின் பரப்புச் சிறுமமாக அமைகிறது.

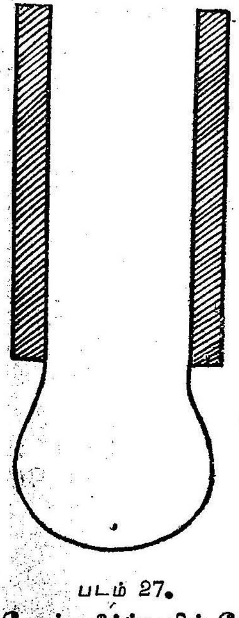
(4) ஒரு தூரிகையானது நீரில் மூழ்கியிருப்பின் அதன் மயிர்கள் நன்ருக விலகியிருக்கக் காணலாம். அத் தூரிகை நீரிலிருந்து வெளியே எடுக்கப்பட்டால் அதன் மயிர்கள் நன்ருகக் குவிந்தும், ஒட்டியிருக்கும். ஏனெனில், அவைகளுக்கு இடையே உள்ள மென் ஏடு (Thin Film) சுருங்கியிருப்பதால் அவ்வாறிருக்கிறது.



(a) (b)

படம் 26.

(5) ஒரு சிறு ஒற்றுத்தாளில் (Blotting paper) ஒரு குண்டூசியை வைத்து அதை நீர்த் தளத்தில் மெதுவாக வைத்தால் ஒற்றுத்தாள் நீரில் ஊறி அமிழ்ந்துவிடும். ஆனல் குண்டூசி மட்டும் நீர்மட்டத்தில் மிதக்கும். இதனல் நீரின் தளம் சிறு பொருள்களின் எடையைத் தாங்கும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது என்பது புலனுகும்.



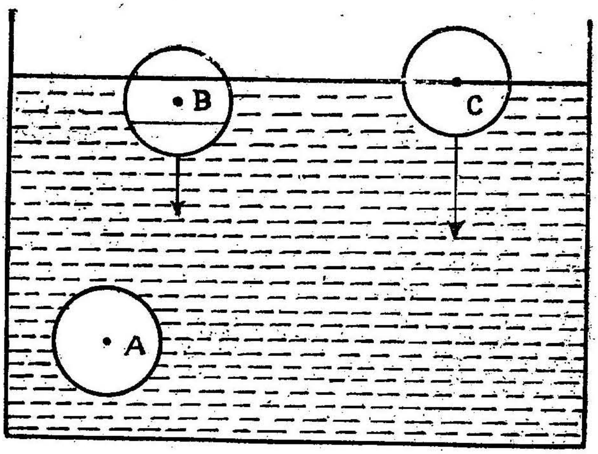
படம் 27.

(6) வளையமொன்றின்மேல் ஒரு இந்தியா ரப்பர் ஏட்டை விரித்து அதன்மேல் பாதரசம் போன்ற கனமான திரவத்தை ஊற்ற வேண்டும். இப்பொழுது திரவ எடையினுல் ஏற்படும் அழுத்தத்தினுல் ரப்பர் ஏடு கழுத்துடைய அமைப்பாக வளைந்து கீழே விழுந்து விடும்.

(7) சோப்பு நீர்க்குமிழியோ அல்லது நீர்த்துளியோ ஒரு குறுகிய குழாயின் நுனியில் தோற்றுவிக்கப்பட்டால் அது கோளவடிவாயிருக்கக் காண்கிரேம். ஒரு குறிப்பிட்ட பரும அளவிற்குக் கோளத்தின் புறப்பரப்புச் சிறுமமாதலால், அந் நீர்த்துளி அல்லது சோப்பு நீர்க்குமிழ் கோளவடிவாயிருக்கிறது.

மேற்கண்ட சோதனைகளால், ஒரு திரவ மேற்பரப்பானது விரிவாக்கப்பட்ட சவ்வினை ஒத்திருப்பதையும், அதில் செயற்படும் ஒரு விசையால் அப் பரப்புச் சிறுமமாக முயல்வதையும் காண்கிறோம். இவ்வாறு திரவ மேற்பரப்பிலேற்படும் விசையே "பரப்பு இழுவிசை" என்றழைக்கப்படுகிறது.

இயக்கக் கொள்கையின் அடிப்படையில் பரப்பு இழு விசைக்கு விளக்கம் (Explanation of Surface Tension on the basis of Kinetic Theory)



படம் 28.

இயக்கக் கொள்கையின் அடிப்படையில் பரப்பு இழுவிசைக்கு விளக்கம் கொடுக்கலாம். இக் கொள்கையின்படி ஒரு திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று ஈர்த்துக் கொண்டிருக்கின்றன. இம் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள இவ்வீர்ப்புத்திறன் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் அதிகரிப்பின் குறையும். எனவே, ஒவ்வொரு மூலக்கூறைச் சுற்றியும் குறிப்பிட்ட தூரத்திற்குத்தான் ஈர்ப்புத்திறன் இருக்கும். இத் தூரம் 'a' என்று கொண்டால் ஒவ்வொரு மூலக்கூறைச் சுற்றியும் 'a' ஆரமாகக் கொண்ட கோளப் பருமனின் உள்ளேதான் ஈர்ப்பு விசை இருக்கும். இக் கோளப் பருமனையே அம் மூலக்கூறின் ஆட்சிப் புலம் (Sphere of influence) என்கிறோம்.

இனி படத்தில் காட்டியுள்ளபடி A, B, C என்னும் மூன்று மூலக்கூறுகளை எடுத்துக்கொள்வோம். திரவத்தின் உட்புறத்திலேயே

இருக்கும் A போன்ற ஒரு மூலக்கூறு எல்லா திசைகளிலும் சமமாக ஈர்க்கப்படுவதால் அதன் மேலுள்ள தொகுபயன் விசை (Resultant Force) சுழியாகும். B போன்ற ஒரு மூலக்கூற்றைக் கருதுவோமாயின் அதன் ஆட்சிப்புலத்தின் ஒரு பகுதி திரவத்திற்கு வெளியே இருக்கிறது. எனவே Bயைக் கீழே ஈர்க்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதை மேலே ஈர்க்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைவிட கூடுதலாக இருப்பதால் Bயானது கீழ்நோக்கிய ஒரு தொகு பயன் விசையால் ஈர்க்கப்படுகிறது. கீழ்நோக்கிய இந்த ஈர்ப்பு விசையானது மூலக்கூறுகள் திரவத்தின் மேற்பரப்பை நெருங்க நெருங்க அதிகரித்து, திரவத்தின் மேற்பரப்பிலே இருக்கும் C போன்ற ஒரு மூலக்கூறுக்குப் பெருமமாக அமைகிறது. எனவே ஒரு மூலக்கூருனது திரவத்தின் அடிப்பரப்பிலிருந்து மேல் பரப்புக்குச் செல்லவேண்டுமாயின் கீழ்நோக்கிய ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக ஒரு குறிப்பிட்ட வேலை செய்யவேண்டும். இவ்வாறு மூலக்கூறுகளால் செய்யப்படும் வேலையானது திரவப் பரப்பில் நிலையாற்றலாக இருக்கிறது. இந் நிலையாற்றல் திரவப் பரப்பைப் பொருத்தது. மேலும், எந்த ஒரு பொருளும் சமநிலை அடையவேண்டித் தன் நிலையாற்றலைச் சிறுமமாக்கிக் கொள்ளும் குணம் பெற்றது. எனவே திரவத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகளும் தங்களின் நிலையாற்றலைச் சிறுமமாக ஆக்கிக்கொள்ள முயலுவதால், அதற்காக வேண்டித் திரவமானது தனது மேற்பரப்பைச் சிறுமமாக்கிக் கொள்ள முயலுகிறது. எனவேதான் எந்த ஒரு திரவப் பரப்பும் இழுபட்டு நிற்கும் சவ்வினைப்போல் சுருங்கும் தன்மையைப் பெற்று விளங்குகிறது.

202669.

பரப்பு இழுவிசையின் வரையறை: "ஒரு திரவத்தின் பரப்பில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் ஒரு நேர்க்கோட்டில், ஓரலகு நீளத்தில், அந் நேர்க்கோட்டிற்குச் செங்குத்தாகவும் திரவப் பரப்பிற்கு இணையாகவும் திரவப் பரப்பினைச் சிறுமமாக ஆக்கும் வகையில் செயற்படும் விசையே அத் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை" எனப்படும்.

(134) 31-2-

இது *C. G. S.* அலகுகளில் டைன்/செ.மீ. எனவும், *MKS* அலகுகளில் நியூட்டன் / மீட்டர் எனவும் குறிக்கப்படுகிறது.

பரப்பு இழுவிசையின் பரிமாணங்கள்

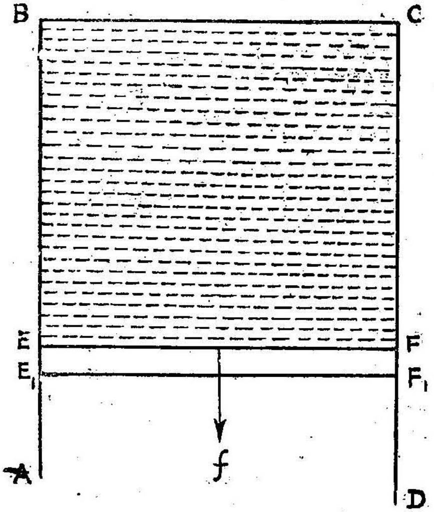
$$T = \frac{\text{விசை}}{\text{நீளம்}}$$

$$= \frac{F}{L}$$

$$= \frac{MLT^{-2}}{L}$$

$$= MT^{-2}$$

பரப்பு ஆற்றல் (Surface Energy): *ABCD* என்னும் செப்புக் கம்பிப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி *BC* என்ற புள்ளிகளில் இரு முறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்டு ஒரு செவ்வகத்தின் மூன்று பக்கங்களாக மாறுகின்றன. *EF* என்னும் செப்புக்கம்பிச் செவ்



படம் 29.

வகத்தின் நகரும் நான்காம் பக்கமாகும். *BCFE*-க்குள் சோப்புக் கரைசலின் மெல்லிய ஏடு ஒன்று இருப்பதாகக் கருதுவோம். இப்பொழுது ஏட்டின் இரு பரப்பிலும் உள்ள மொத்தப் பரப்பு இழுவிசையே நகரும் கம்பியான *EF* ஐச் சமநிலையில் வைத்திருக்கிறது. எனவே கம்பியினுடைய எடையினால் உண்டாகும் கீழ்நோக்கிய விசை ஏட்டின் இரு புறமும் உள்ள மேல்நோக்கிய மொத்தப் பரப்பு இழுவிசையால் சமமாக்கப்படுகிறது.

$$\therefore \quad f = 2T \times EF$$

இப்பொழுது *EF* தனக்குத்தானே இணையாக நகர்ந்து E_1F_1-க்கு வருகிறது எனக் கொள்வோம். மென் ஏட்டின் பரப்பு $2\ EF \times EE_1$ அளவு அதிகமாகிறது. எனவே இந்நிகழ்ச்சியின்போது செய்யப் படும் செயல்,

= விசை × கம்பி நகர்ந்த தூரம்

$$= f \times EE_1$$

$$= 2T \cdot EF \times EE_1$$

ஆகவே பரப்பை $2EF \cdot EE_1$ அளவு அதிகரிக்கச் செய்ய வேண்டிய செயல்,

$$= 2T \cdot EF \times EE_1$$

பரப்பை ஓரலகு அதிகரிக்கச் செய்யவேண்டிய செயல்,

$$= \frac{2T \cdot EF \times EE_1}{2EF \cdot EE_1}$$

$$= T$$

இதையே பரப்பு ஆற்றல் (Surface Energy) என்கிறோம்.

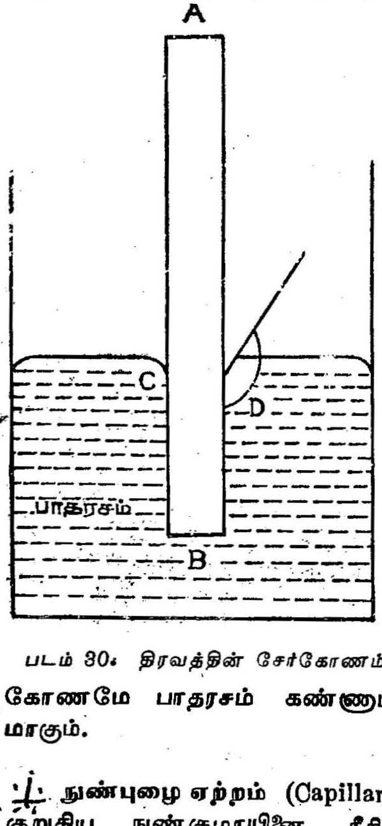
எனவே பரப்பு ஆற்றலானது ஒரு திரவத்தின் பரப்பை ஓரலகு அதிகமாக்கச் செய்யுவேண்டிய செயலாகும். இது பரப்பு இழு விசைக்கு, அளவில் சமம்.

இங்கு, பரப்பு ஆற்றலினைப் பயன்படுத்தியும் பரப்பு இழு விசையை வரையறுக்கலாம். ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை யென்பது "வெப்பநிலை மாருதிருக்கும்போது அத் திரவத்தின் பரப்பை ஓரலகு அதிகமாக்கச் செய்யவேண்டிய செயலாகும்." எனவே, பரப்பு இழுவிசையை எர்கு/ச.செ.மீ. என்று C.G.S. அலகுகளிலும், ஜூல்/சதுரமீட்டர் என்று *MKS* அலகுகளிலும் குறிக்கலாம்.

சேர்கோணம் அல்லது தொடுகோணம் (Angle of contact): *AB* என்னும் ஒரு கண்ணுடித் தகடு ஒரு தொட்டியிலுள்ள பாதரசத்தில் செங்குத்தாக அமிழ்த்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். இங்குக் கண்ணுடித் தகட்டருகே உள்ள பாதரசப் பரப்புகள் வளைந்து C_1 D என்ற புள்ளிகளில் கண்ணுடித் தகட்டைத் தொடு கிறது. C_1 D என்ற புள்ளிகளில் கண்ணுடி, பாதரசம், காற்று ஆகிய மூன்றும் சமநிலையில் உள்ளன. C_1 D என்ற புள்ளிகளில் இருக்கும் வளைந்த திரவப்பரப்பு திரவத்தின் பிறைத்தளம் (Meniscus) எனப்படுகிறது. C அல்லது D புள்ளியில் திரவத்தின் பிறைத் தளத்திற்கு வரையப்படும் தொடுகோட்டிற்கும். திரவத்தின் உள்ளே இருக்கும் கண்ணுடித் தகட்டிற்கும் இடையேஉள்ள கோணமே

பாதரசத்தின் சேர்கோணமாகும். இக் கோணம் பாதரசத்திற்கு விரிகோணமாகவும் மற்றத் திரவங்களுக்குக் குறுங்கோணமாகவும் அமைகிறது.

பாதரசம் கண்ணாடியுடன் கொண்ட சேர்கோணத்தைக் காணல்: மேற்சொன்னவாறு தொட்டியிலுள்ள பாதரசத்தில் செங்குத்தாக அமிழ்த்தப்பட்ட கண்ணாடித் தகடு படிப்படியாகச் சாய்க்கப்பட்டால் தகடு எந்த திசை நோக்கிச் சாய்ந்திருக்கிறதோ அத் திசையிலுள்ள பிறைத்தளம் தட்டையாக (கிடைமட்டமாக) ஆகிக்கொண்டும் தகட்டின் மறுபுறமுள்ள பிறைத்தளம் மேலும் மேலும் அதிக வளைவைப் பெற்றுக் கொண்டும் இருக்கும். தகட்டின் ஒரு குறிப்பிட்ட சாய்வான நிலையில் தட்டையாக மாறிக் கொண்டிருக்கும் பிறைத்தளம் பூரணமாகக் கிடைக்கையாக மாறிவிடுகிறது. இப்பொழுது இந்தக் கிடைமட்டத்திற்கும், பாதரசத்தினுள் அமிழ்ந்துள்ள கண்ணாடித் தகட்டின் சாய்வான பகுதிக்கும் இடையே உள்ள கோணமே பாதரசம் கண்ணாடியுடன் கொண்ட சேர்கோணமாகும்.



படம் 30. திரவத்தின் சேர்கோணம்

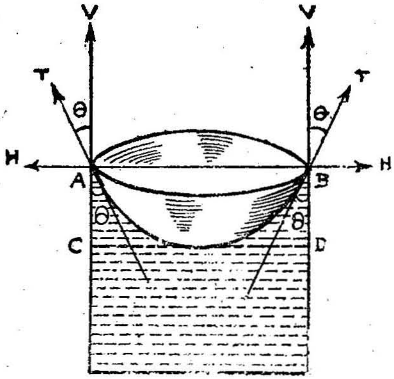
நுண்புழை ஏற்றம் (Capillary rise): *சீரான துளையுடைய ஒரு* குறுகிய நுண்குழாயினை நீரில் செங்குத்தாக அமிழ்த்தினால் குழாயினுள் உள்ள நீர்மட்டம் வெளியேயுள்ள நீர்மட்டத்தைவிட உயர்ந்து காணப்படும். இதன் காரணத்தை இனி ஆராய்வோம். நுண்குழாயினுள்ளே உள்ள நீரின் மேற்பரப்புக் கீழ்நோக்கிய பரப்பு இழுவிசையால் தன்னைச் சுருக்கிக்கொள்ள முயலுகிறது. எனவே, இவ்வாறான கீழ்நோக்கிய விசை குழாயின் உட்சுவரில் செயல்படுவதால், உட்சுவரானது மேல் நோக்கிய எதிர் விசையை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த மேல் நோக்கிய விசை குழாயினுள்ளே நீரை மேல் நோக்கி இழுக்கிறது. எனவே நீர்மட்டம் உயர்ந்து

கொண்டே சென்று, எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தின் போது உட்சுவரின் மீது பரப்பு இழுவிசையால் ஏற்படும் மேல் நோக்கிய எதிர்விசையும், நீரின் எடையால் ஏற்படும் கீழ்நோக்கிய ஈர்ப்பு விசையும் சமமாகிறதோ அங்கு நின்று விடுகிறது. பாதரசம் போன்ற திரவத்திற்குச் சேர்கோணம் விரிகோணமாக இருப்பதால்நுண்புழை இறக்கம் (Depression) ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு பரப்பு இழுவிசையால் நுண்குழாய் வழியே உண்டாகும் நுண்புழை ஏற்றத்திற்கு நுண்புழை இயல் (Capillarity) என்றும் பெயர் உண்டு.

எடுத்துக்காட்டாக விளக்குத் திரிகளில் ஏற்படும் எண்ணெய் ஏற்றம், தாவரங்களில் தாவர உயிர்ச்சாறின் ஏற்றம் போன்றவை நுண்புழை இயலால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

Not Swallow

நுண்புழை ஏற்றத்தின் அறிமுறை விளக்கம்: 'h' என்பது குழாயினுள்ளே உள்ள நீரின் அடிப்பிறைத் தளமான CD-க்கும் குழாயின் வெளியிலுள்ள நீர்மட்டத்திற்கும் இடையேயுள்ள உயரம் எனவும், T என்பது திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை எனவும், θ



படம் 31. நுண்புழை ஏற்றம்

திரவத்தின் சேர்கோணம் எனவும் கொள்வோம். குழாயினுள்ளே உள்ள திரவத்தின் மேற்பரப்பு ஒரு கிடைமட்டமான வட்டத்தின் சுற்றளவு முழுவதும் குழாயின் உட்சுவரைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கிறது. A, B என்ற புள்ளிகள் அவ் வட்டத்தின் எதிரெதிர்ப் புள்ளிகள் எனவும், அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரமானது $2r$ எனவும், கொள்வோம். இங்கு r என்பது நுண் குழாயின் ஆரமாகும்.

இப்பொழுது 'A' என்ற புள்ளியில் AT வழியாக இயங்கும் T என்ற விசையைச் செங்குத்தாகவும், கிடைமட்டமாகவும் இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். இவை முறையே V, H எனக் கொண்டால் $V = T\cos\theta$; $H = T\sin\theta$. இதே போல் B என்ற புள்ளியிலுள்ள விசையான Tயையும் $V = T\cos\theta$, $H = T\sin\theta$ என இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். இப்பொழுது A, B என்ற புள்ளிகளில் உள்ள கிடைக்கை விசைகள் சமமாகவும் எதிராகவும் இருப்பதால் ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொள்கின்றன. இவ்வாறே எல்லா வட்டப் பகுதி புள்ளிகளிலும் உள்ள கிடக்கை விசைகளும் அதனதன் எதிர் உள்ள புள்ளிகளிலுள்ள கிடக்கை விசைகளால் அழிக்கப்பட்டு விடுகின்றன.

எனவே நமக்கு இப்பொழுது செங்குத்து விசைகள் மட்டுமே உண்டு. மொத்தச் செங்குத்து விசையானது வட்டப் பகுதியின் எல்லா புள்ளிகளிலும் செயற்படும் செங்குத்து விசைக் கூறுகளின் கூட்டுத் தொகையாகும். இவைகளின் தொகுபயன் விசை (Resultant force) $= 2\pi r\ T\cos\theta$. CD-க்குக் கீழேயுள்ள திரவத் தம்பத்தின் எடை $= \pi r^2 hg\rho$. இங்கு ρ என்பது திரவத்தின் அடர்த்தியாகும்.

CD-க்கு மேலேயுள்ள திரவத்தின் எடை $= ABCD$ என்னும் உருளை வடிவத்தின் எடை — ABயை விட்டமாகக் கொண்ட அரைக் கோளத்தின் எடை,

$$= \pi r^3 \rho g - \tfrac{2}{3}\pi r^3 \rho g = \tfrac{1}{3}\pi r^3 \rho g.$$

∴ திரவத் தம்பத்தின் மொத்த எடை $\Big\} = \pi r^2 h\rho g + \tfrac{1}{3}\pi r^3 \rho g.$

$$= \pi r^2 \rho g\left(h + \frac{r}{3}\right)$$

∴ முன்னர்க் கூறியபடி, $2\pi r\ T\cos\theta = \pi r^2\ \rho g\left(\rho h + \frac{r}{3}\right)$

$$\therefore T = \frac{\left(h + \frac{r}{3}\right) rg\rho}{2\cos\theta} \text{ டைன் / செ.மீ.}$$

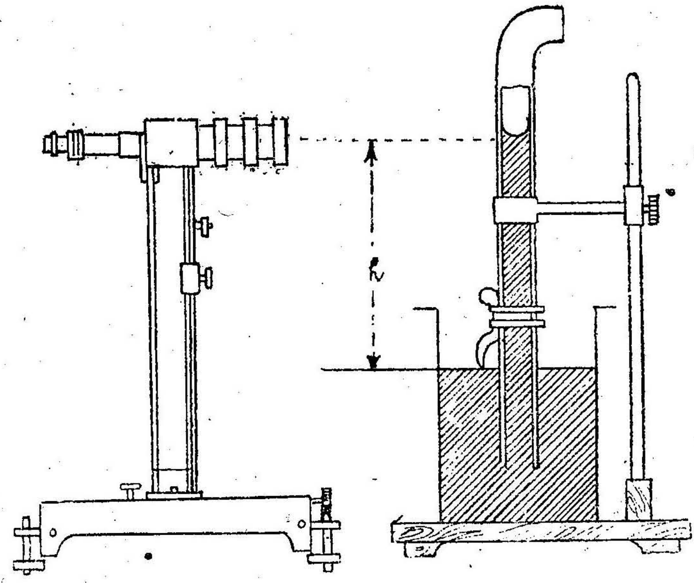
கொடுக்கப்பட்ட திரவம் நீராயிருக்குமாயின், நீருக்கு $\rho = 1$; $\theta = 0$.

$$\therefore T = \frac{\left(h + \frac{r}{3}\right) rg}{2} \text{ டைன்/செ.மீ.}$$

h-ன் மதிப்போடு ஒப்பிடும்போது ஆரம் r-ன் மதிப்பு மிகச் சிறியது. அதனால் $T = \frac{hrg}{2}$ டைன்/செ.மீ. (தோராயமாக)

நுண்புழை ஏற்றத்தைப் பயன்படுத்தி நீரின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடித்தல்

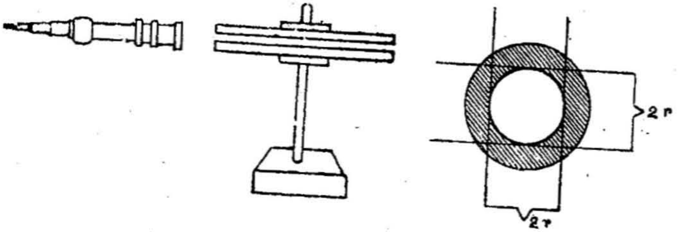
(i) நுண்புழை ஏற்றத்தினைக் கணக்கிடல் (h): ஒரு கண்ணாடி முகவையில் நீரை எடுத்துக்கொள்வோம். படத்தில் காட்டியுள்ள



படம் 32. நுண்புழை ஏற்றம்—நீரின் பரப்பு இழுவிசை காணல்

படி ஒரு நுண்குழாயை நீரில் அமிழ்த்த வேண்டும். குழாயினுள் நீர்மட்டம் உயர்ந்து நிற்கும். பின்னர் வெளி நீர்மட்டம் கம்பியொன்றின் கூர்முனையைத் தொடுமாறு படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அமைக்க வேண்டும். இப்பொழுது குழாயினுள்ளே உள்ள நீர் மட்டத்தினை நுண்ணோக்கியால் காணவேண்டும்.

முதலில், நீர்மட்டம் நுண்ணோக்கியில் தெளிவாகத் தெரியும்படி நுண்ணோக்கியைச் சரி செய்யவேண்டும். பிறகு நுண்ணோக்கியிலுள்ள கிடக்கைக் குறுக்குக் கம்பி நீரின் அடிப்பிறைத் தளத்திற்குத் தொடுகோடாக அமையுமாறு நுண்ணோக்கியின் உயரத்தைச் சரி செய்ய வேண்டும். பிறகு செங்குத்து அளவுகோலில் அளவுக் குறிப்பு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். பிறகு கம்பியை அசைக்காது முகவையை எடுத்துவிட்டு, நுண்ணோக்கியைக் கீழிறக்கி அதன் கிடக்கைக் குறுக்குக் கம்பி கூர் முனையைத் தொடுமாறு அமைத்து அளவு குறிப்பு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இரண்டிற்கும் உள்ள வேறுபாடே நுண்புழை ஏற்றம் 'h' ஆகும்.



படம் 33. நுண்குழாயின் ஆரம் காணல்

(ii) **நுண்குழாயின் ஆரத்தைக் கண்டுபிடித்தல்:** நுண்குழாயை உயர்த்தி அதைக் கிடைமட்டமாகப் பொருத்த வேண்டும். பின்னர் நுண்ணோக்கியைப் படத்திலுள்ளபடி அதைத் தெளிவாகக் காணும்படி அமைக்க வேண்டும். இதில் கண்ணாடிக் குழாயின் வெளிப் பரப்பு ஒரு பெரு வட்டமாகவும், உட்பரப்பு அதனுள் சிறு வட்டமாகவும் தோன்றும். இப்பொழுது நுண்ணோக்கியின் கிடக்கைக் கம்பி உள்வட்டத்தின் மேல் வளைவிற்குத் தொடுகோடாக அமையுமாறு நுண்ணோக்கியின் உயரத்தையமைத்துச் செங்குத்து அளவுகோலில் குறிப்பு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். பிறகு நுண்ணோக்கியை மெதுவாகக் கீழேயிறக்கிக் கிடக்கைக் குறுக்குக் கம்பி, வட்டத்தின் கீழ் வளைவிற்குத் தொடுகோடாக அமையுமாறு வைத்துக் குறிப்பு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இக் குறிப்புகளுக்குள்ள வேறுபாடு நுண்குழாயின் விட்டமாகும். இவ்வாறே, நுண்ணோக்கியைக் கிடக்கையாக நகர்த்தி, நுண்ணோக்கியின் செங்குத்து குறுக்குக் கம்பி, உள்வட்டத்தின் இடது வளைவிற்கும், வலதுவளைவிற்கும்தொடுகோடாக இருக்குமாறு அமைத்துகிடக்கை அளவுகோலில் இரு நிலைகளுக்கும் குறிப்புகள் எடுத்து அதன் வேறுபாட்டைக் கணக்கிட்டால் அதுவும் நுண்குழாயின் விட்டம் ஆகும். பின்னர் இரண்டின் சராசரி மதிப்பைக் கணக்கிட்டு அதை இரண்டால் வகுத்து, நுண்குழாயின் ஆரத்தைக் கணக்கிடலாம்.

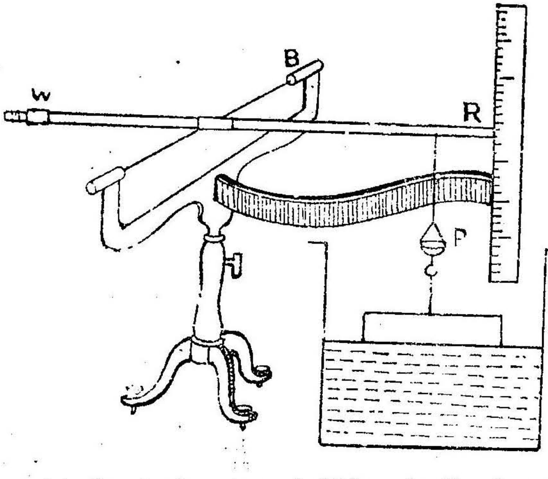
(iii) பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடல்: இப்பொழுது h, r ஆகியவற்றின் மதிப்புத் தெரிவதால், திரவத்தின் அடர்த்தி ρயைக் கண்டுபிடித்து,

சமன்பாட்டிற்கு பக்கம் 56ஐப் பார்க்க.

$$T = \frac{\left(h + \frac{r}{3}\right) r\rho g}{2}$$ என்ற சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திப் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடலாம்.

வேறுபட்ட ஆரங்களையுடைய வெவ்வேறு நுண்குழாய்களைப் பயன்படுத்தி இச் செய்முறையைப் பலமுறை செய்யலாம்.

முறுக்குத் தராசைப் பயன்படுத்தி நீரின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடித்தல் (Determination of Surface Tension of water by Torsion Balance) : முறுக்குத் தராசின் அடிப்பாகம் மூன்று கால்களால் தாங்கப்பட்டிருக்கும். அம் மூன்றனுள் ஒன்றில்

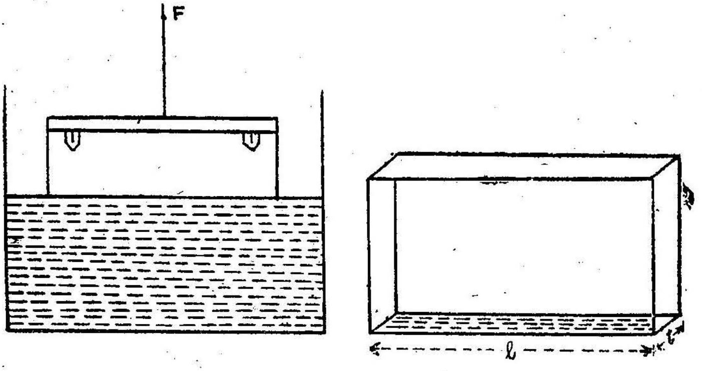


படம் 34: முறுக்குத்தராசு மூலம் நீரின் பரப்பு இழுவிசை காணல்

S என்னும் திருகு இருக்கும் இந்த அடிப்பாகமானது படத்தில் காட்டியுள்ளபடி ஓர் உலோகச் சட்டத்தைத் தாங்கியிருக்கும். இச் சட்டத்தை உயர்த்தவோ தாழ்த்தவோ இயலும். உலோகச் சட்டத்தில் AB என்னும் கம்பி விறைப்பாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். கம்பியின் மையப் புள்ளியில் ஒரு நீண்ட குறிமுள் (Pointer) இணைக்கப்பட்டிருக்கும். குறிமுள்ளின் நீண்ட பகுதி ஒரு செங்குத்து அளவுகோலின் மீது நகரக்கூடியதாக

உள்ளது. குறிமுள்ளின் சிறுபகுதி w என்னும் நகர்த்தக் கூடிய எடையைப் பெற்றது. P என்னும் ஒரு சிறு தராசுத் தட்டுக் குறிமுள்ளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இத் தட்டின் கீழ் உள்ள வளையத்திலிருந்து ஒரு செவ்வகக் கண்ணாடித் தகடு தொங்க விடப்பட்டிருக்கிறது.

முதலில் கண்ணாடித் தகட்டை நீர்த்த கந்தக அமிலம் கொண்டும், பின்னர் குழாய் நீர் கொண்டும் நன்கு சுத்தம் செய்ய வேண்டும். பின்னர் அதை Pயிலிருந்து படத்தில் காட்டியவாறு தொங்கவிடவேண்டும். இப்பொழுது wவை நகர்த்திக் குறிமுள்



படம் 35.

கிடக்கையாக இருக்குமாறும், கண்ணாடித் தகட்டின் அடி ஓரம் கிடக்கையாக இருக்குமாறும் அமைக்க வேண்டும். பின்னர் நீருள்ள ஒரு தொட்டியைக் கண்ணாடித் தகட்டின் கீழே கொண்டுவந்து தகட்டின் அடி ஓரம் தொட்டியிலுள்ள நீரின் மேற்பரப்பைச் சற்றே தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கவேண்டும். பின்னர் Wவை நகர்த்தியோ, குறிமுள்ளின் குறுகிய பகுதியில் சிறு எடையுள்ள வளையங்களைச் சேர்த்தோ அல்லது திருகு S-ஐச் சரிசெய்தோ கண்ணாடித் தகடு நீரின் மேற்பரப்பிலிருந்து விடுபடுமாறு செய்ய வேண்டும். இவ்வாறு கண்ணாடித் தகடு விடுபட ஆரம்பிக்கும் போது அளவுகோலில் குறிமுள் காட்டும் அளவைக் (R) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும்.

பின்னர் தொட்டியை நீக்கிவிட்டு, குறிமுள் மறுபடியும் R-க்குச் செல்லுமாறு தராசுத் தட்டில் எடைகளைச் சேர்க்க வேண்டும். இந்த எடை m ஆக இருப்பின் mg என்னும் விசை நீரின் பரப்பு இழுவிசைக்குச் சமம்.

கண்ணாடித் தகட்டின் நீளம் l ஆகவும், தடிமம் t ஆகவும் இருக்கட்டும். இப்பொழுது கண்ணாடித் தகட்டின் நீரைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் ஓரம் முழுமையிலும் பரப்பு இழுவிசை கீழ்நோக்கிச் செயல்படுகிறது. ஆகவே கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசையின் அளவு $2T\ (l + t) \cos\theta$ ஆகும். இதன் அளவு mg எனப் பின்னர் எடையைப் போட்டு கணக்கிடப் பட்டதால்,

$$2\,(l + t)\ T \cos\theta = mg$$

ஆனால் நீருக்கு $\theta = 0$;

$$\therefore\ \cos\theta = 1$$

$$\therefore\ 2\,(l + t)\ T = mg$$

அல்லது,

$$T = \frac{mg}{2\,(l + t)} \text{ டைன்கள்/செ. மீ.}$$

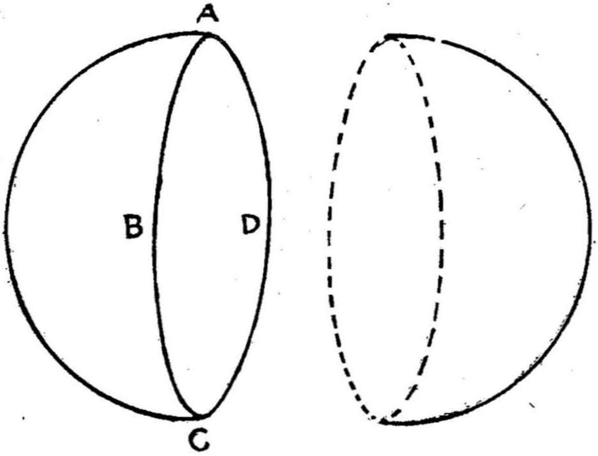
R–ன் அளவீட்டை பலமுறை எடுத்துச் சராசரியைக் கணக்கில் கொள்ளவேண்டும்; l–ஐ வெர்னியரைக் கொண்டும், t-யைத் திருகு மானியைக் கொண்டும் அளந்து T-ஐக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒரு திரவக் குமிழின் உள்ளேயுள்ள கூடுதலான அழுத்தம் (Excess of Pressure within the bubble of a liquid): ஒரு சோப்புக் கரைசலிலிருந்து ஒரு கோள வடிவக் குமிழை உண்டாக்கும்போது, பரப்பு இழுவிசை குமிழினுடைய மேற் பரப்பைக் குறைக்க முயலும். அதாவது குமிழின் பருமனைக் குறைக்க முயலும். இவ்வாறு பருமன் குறையுமாயின் குமிழில் உள்ள காற்றின் அழுத்தம் சற்றுக் கூடுதலாக இருக்கும். இக் கூடுதலான அழுத்தம் குமிழின் பருமனை அதிகரிக்க முயலும். எனவே பரப்பு இழுவிசை குமிழின் பருமனைக் குறைக்கவும், இக் கூடுதலான அழுத்தம் குமிழின் பருமனைப் பெருக்கவும் முயலும். எனவே குமிழ் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆரத்தை (R)-க் கொண்டிருக்கும் போது சமநிலை ஏற்பட்டுப் பரப்பு இழுவிசையும், கூடுதலான அழுத்தமும் ஒன்றையொன்று ஈடுசெய்யும்.

ஒரு கோளக்குமிழ் அதன் மையத்தில் செல்லும் $ABCD$ என்ற ஒரு தளத்தால் இரண்டு சமமான அரைக்கோளங் களாகப் பிரிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது $ABCD$ என்னும் வட்டத் தளத்தின் சமநிலையைக் கருதினோமானால்,

வட்டத்தின் சுற்றளவின் வழியே செயற்படும் மொத்த பரப்பு இழுவிசை (உள்நோக்கி),

$= 2\pi RT \times 2$ (ஏனெனில், குமிழ் இரண்டு பரப்புகளை உடையது)



படம் 36. திரவக் குமிழ்

கூடுதலான அழுத்தத்தால் வட்டத் தளத்தின் பரப்பில் ஏற்படும் விசை (வெளிநோக்கி),

$= \pi R^2 p$ (p என்பது கூடுதலான அழுத்தம்)

$\therefore \pi R^2 p = 4\pi RT$

$\therefore \quad p = \frac{4T}{R}$ டைன்/ச.செ.மீ. (C.G.S அலகுகளில்)

$= \frac{4T}{R}$ நியூட்டன்/ச. மீட்டர் (MKS அலகுகளில்)

எனவே திரவக் குமிழ் ஒன்றின் உள்ளேயுள்ள கூடுதலான அழுத்தம் $p = \frac{4T}{R}$ ஆகும்.

கோளத் துளியினுள் உள்ள அழுத்தம் (Excess of pressure inside a spherical drop): குமிழுக்கும், துளிக்கும் உள்ள வேறுபாடு

என்னவெனில் குமிழுக்கு இரண்டு மேற்பரப்புகள் உண்டு. ஆனால் துளிக்கு ஒரு மேற்பரப்பே உண்டு.

எனவே மேற்கூறியவாறே

$\pi R^2 p = 2\pi RT$ எனக் காட்டலாம்.

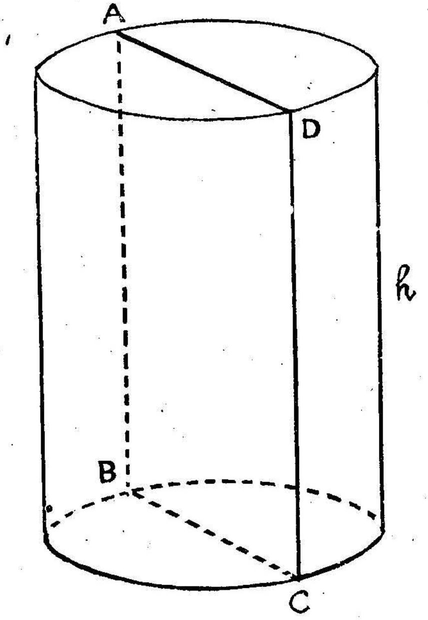
$\therefore \quad p = \frac{2T}{R}$ டைன்/ச.செ.மீ. ($C.G.S$ அலகில்)

$= \frac{2T}{R}$ நியூட்டன்/ச.மீ. (MKS அலகில்)

எனவே கோளத்துளியினுள் உள்ள கூடுதல்

அழுத்தம் $p = \frac{2T}{R}$ ஆகும்.

நீள் உருளைக்குமிழினுள் உள்ள கூடுதலான அழுத்தம் (Excess of pressure within a cylindrical bubble): R ஆரமும்,



படம் 37. நீள் உருளை வடிவக் குமிழ்

h உயரமும் கொண்ட ஒரு நீள் உருளைக் குமிழை எடுத்துக்கொள்வோம். இக் குமிழ் அதன் அச்சின் வழியே செல்லும் $ABCD$

என்னும் தளத்தால் இரு சம பாதிகளாகப் பிரிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது $ABCD$ என்னும் செவ்வகப் பரப்பின் சமநிலையைக் கருதுவோம். குமிழைச் சுருக்க முயலும் பரப்பு இழுவிசை AB, CD வழியாகச் செயற்படுகிறது.

இந்தப் பரப்பு இழுவிசை

(உள் நோக்கி) $= 2\,hT \times 2$ (ஏனெனில் குமிழ் இரண்டு பரப்புகளையுடையது)

கூடுதலான அழுத்தத்தால் $ABCD$ பரப்பில் செயல்படும் விசை (வெளி நோக்கி) $= h \times 2R \times p$

$$\therefore h \times 2R \times p = 4\,hT$$

$$\therefore \quad p = \frac{2T}{R} \text{ டைன்/ச.செ.மீ. } (C.G.S \text{ அலகில்})$$

$$= \frac{2T}{R} \text{ நியூட்டன்/ச. மீட்டர் } (M.K.S \text{ அலகில்})$$

எனவே நீள் உருளை வடிவக் குமிழினுள் உள்ள கூடுதலான அழுத்தம் $p = \frac{2T}{R}$ ஆகும்.

நீள் உருளை வடிவத்துளியினுள் உள்ள கூடுதலான அழுத்தம் (Excess of pressure with in a Cylinderical drop): முன்னர் சொன்ன படியே துளிக்கு ஒரு பரப்பே உள்ளதால்,

$$h \times 2R \times p = 2\,hT$$

$$\therefore \quad p = \frac{T}{R} \text{ டைன்/ச.செ.மீ. } (C.G.S \text{ அலகில்})$$

$$= \frac{T}{R} \text{ நியூட்டன்/ச மீ. } (M.K.S \text{ அலகில்})$$

எனவே நீள் உருளை வடிவத்துளியினுள் உள்ள கூடுதலான அழுத்தம் $p = \frac{T}{R}$ ஆகும்.

துளி எடை முறையைப் பயன்படுத்தி திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடித்தல்: செங்குத்தாக உள்ள ஒரு குறுகலான கண்ணாடிக் குழாயின் கீழ் முனையில் ஒரு திரவத் துளி தோன்றும் போது படத்தில் காட்டியுள்ளபடி, அத் துளி பெரிதாகிக் குழாயினின்று விடுபட்டுக் கீழே வீழ்கிறது. துளி விடுபடு முன்னர் அதில் மூன்று விசைகள் செயற்படுவதால் துளி சமநிலையில் இருக்கிறது.

அவையாவன : (1) கீழ்நோக்கிய துளியின் எடை mg.

(2) உட்புற அழுத்த மிகுதியால் ஏற்படும் விசை.

இதுவும் கீழ்நோக்கிச் செயல்படுகிறது. ராலே என்பவர் கண்ணாடி முனையிலிருந்து விடுபடும் துளியின் வடிவத்தை நீள் உருளை வடிவமெனக் கொண்டார். நீள் உருளை வடிவத் துளியினுள் அழுத்த மிகுதி $= \frac{T}{R}$. எனவே குழாயின் குறுக்குப் பரப்பில் அழுத்த மிகுதியால் செயற்படும் விசை $= \left(\frac{T}{R}\right) \pi R^2 = \pi RT$

(3) குழாயின் உள் சுற்றளவில் மேல் நோக்கிச் செயற்படும் மொத்தப் பரப்பு இழு விசையான $2\pi\ R.T.$ எனவே துளியானது சமநிலையிலிருக்க மேல்நோக்கிச் செயற்படும் விசை கீழ்நோக்கிச் செயற்படும் விசைகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும்.

அதாவது,

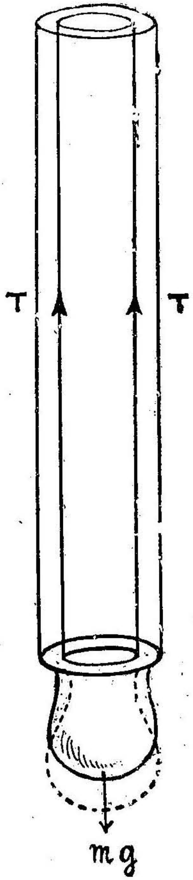
$$2\pi RT = mg + \pi RT$$

$$\therefore \pi RT = mg$$

$$\therefore T\ \frac{mg}{\pi R} \text{ டைன்கள்/செ.மீ,}$$

இவ் வாய்பாடு துளி சமநிலையில் உள்ளது என்ற அடிப்படையில் பெறப்பட்டதாகும். ஆனால், ராலே இது தவறென்றும், துளி கீழே விழும்போதுள்ள அதன் நிலை இயக்கச் சமநிலை (Dynamic equilibrium) எனவும் கூறி,

இவ் வாய்பாடு, $T = \frac{mg}{3{\cdot}8\ R}$ என இருக்க வேண்டுமெனத் திருத்தினர்.



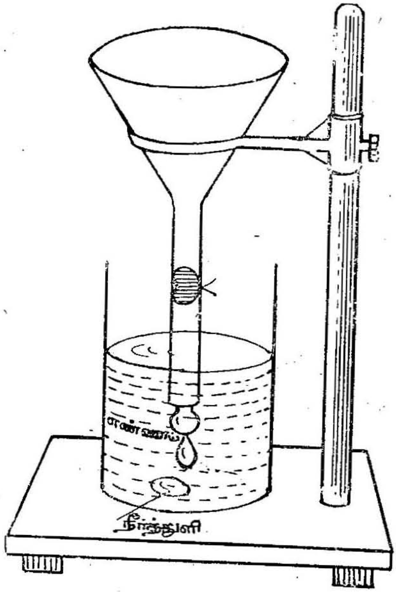
படம் 38. பரப்பு இழு விசை—துளி எடை முறை

இத் துளி எடைமுறையைப் பயன் படுத்தித் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்க முதலில் நிறை தெரிந்த முகவையில் 50 அல்லது 100 நீர்த்துளிகளைச் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்ட ஒரு குறுகிய கண்ணாடிக் குழாயின் அடிமுனையிலிருந்து

மெதுவாக விழுமாறு செய்து அதன் எடையைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். இந்தக் குறிப்பிலிருந்து துளியின் நிறையாக 'm'ஐக் கண்டுபிடிக்கலாம். பின்னர் நகரும் நுண்ணோக்கியைப் பயன் படுத்திக் குழாயின் ஆரமான Rஐக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

பின்னர் $T = \frac{mg}{3{\cdot}8\,R}$ என்ற ராலேயின் வாய்பாட்டைப் பயன் படுத்திப் பரப்பு இழுவிசையான Tஐக் க்ண்டுபிடிக்கலாம்.

நீர்-எண்ணெய் ஆகியவற்றின் இடையே உள்ள பரப்பிடை இழு விசை: நீர் எண்ணெய் ஆகியவற்றின் இடையே உள்ள பரப்பிடை இழு விசையைக் காண, முன்னர்க் கூறிய அமைப்பையே எடுத்துக்



படம் 39: பரப்பிடை இழுவிசை

கொண்டு செங்குத்தான கண்ணாடிக் குழாயை ஒரு முகவையி லுள்ள எண்ணெயில் அமிழ்ந்திருக்குமாறு அமைக்கவேண்டும். பின்னர் முன்கூறியபடியே ஒரு நீர்த்துளியின் எடையைக் கண்டு பிடிக்கவேண்டும். நீர்த்துளி எண்ணெயினுள்ளே உருவாக்கப் படுவதால் அதனுடைய எடை $= mg\left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$ இங்கு ρ_1, ρ_2 என் பவை முறையே நீர், எண்ணெய் ஆகியவற்றின் அடர்த்திகளாகும்.

$$\therefore T = \frac{mg\left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)}{3 \cdot 8\, R} \text{ டைன்கள்/ச.செ.மீ.}$$

திரவத் துளிகளின் வடிவங்கள் (Forms of liquid drops) : ஒரு திரவத் துளியின் வடிவம் அதன் அளவைப் (Size) பொறுத்ததாகும். அது எப்போதும் நிலையாற்றலைச் சிறுமமாக்க முற்படும் தன்மையுடையதாகவிருக்கும். ஒரு திரவத் துளியின் நிலையாற்றல் அதன் ஈர்ப்பு மையம், பரப்பு இழுவிசை ஆகியவற்றைப் பொறுத்ததாகும். இங்குப் பெருந்துளி, சிறு துளி ஒரு திரவத்தினுள் அமையும். மற்றொரு திரவத்தின் துளி ஆகியவற்றின் வடிவங்கள் பற்றிக் காண்போம்.

(1) **பெருந்துளி :** ஒரு திரவத்துளி பெரிதாயிருப்பின், அதன் எடை அதிகமாகவிருக்கும். அத் துளியின் ஆற்றலானது பெரும் பாலும் அதன் ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொறுத்தே அமையுமன்றி அதன் பரப்பு இழுவிசையைப் பொறுத்ததன்று. ஒரு குறிப்பிட்ட

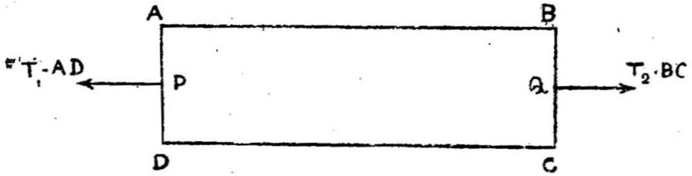
படம் 40. பெருந்துளியின் வடிவம்

எடையுள்ள திரவத்தின் நிலையாற்றல், சிறுமமாகவிருக்க அதன் ஈர்ப்பு மையம் தாழ்ந்திருக்கவேண்டும். எனவேதான் ஒரு பெருந் துளியின் ஈர்ப்பு மையம் தாழ்ந்த நிலையில் இருக்க முயலுகிறது. அதனால் அந்தப் பெருந்துளியானது கண்ணாடித் தட்டின் மீது வைக்கப்படின், பரவலான ஒரு வடிவைப் பெறுகிறது.

(2) **சிறுதுளி :** திரவத் துளி சிறிதாயிருப்பின் அதன் எடை மிகவும் சிறிதாயிருக்கும். எனவே துளியின் நிலையாற்றல் பெரும் பாலும் அதன் பரப்பு இழுவிசையைப் பொறுத்து அமையுமேயன்றி அதன் ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொறுத்ததன்று. துளியின் நிலையாற்றல் சிறுமமாக்கப்படும்போது அதன் பரப்புச் சிறுமமாகிறது. ஒரு குறிப் பிட்ட பரும அளவிற்குக் கோளத்தின் பரப்புச் சிறுமமாகையால் திரவத் துளியும் சிறுமப் பரப்புடைய கோள வடிவைப் பெறுகிறது. இதனால்தான் இலைகளின் மேலமையும் நீர்த்துளிகள், மழைத் துளிகள், மற்றும் கண்ணாடித்தட்டின் மீதுள்ள சிறிய பாதரசத்துளி ஆகியவை கோள வடிவுடையனவாயிருக்கின்றன.

(3) **ஒரு திரவத்தினுள் அமையும் மற்றொரு திரவத் துளி:** ஒரு திரவத் துளியானது வேறொரு திரவத்தினுள் சமநிலையிலிருக்க இரு திரவங்களின் அடர்த்தியும் சமமாயிருத்தல் வேண்டும். அவ்வாறு இருப்பின் திரவத் துளியின் நிலையாற்றல் அதன் ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொறுத்திருக்காது. ஆனால், பரப்பு இழு விசையைப் பொறுத்திருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக ஆலிவ் எண்ணெய்த் துளியானது ஆல்கஹாலும் நீரும் கலந்த திரவக் கலவையில் அமைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். அந்த எண்ணெய்த் துளியின் அடர்த்தி, திரவக் கலவையின் அடர்த்திக்குச் சமமாயிருப்பின் அத் துளி சமநிலையிலிருக்கும். அப்போது அதன் வடிவமானது ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொறுத்ததல்லாது பரப்பு இழுவிசையைப் பொறுத்தே இருக்கிறது. அதனால் அது தன் பரப்பைச் சிறுமமாக்க முயலுகிறது. எனவே அது கோள வடிவைப் பெறுகிறது.

ஒரு திரவப் பரப்பின்மேல் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் பரப்பு இழுவிசை சமமே: திரவத்தின் பரப்பில் P, Q என்னும் இரு புள்ளிகளை



படம் 41.

எடுத்துக்கொள்வோம். இந்தப் புள்ளிகளைச் சுற்றி $ABCD$ என்னும் ஒரு சிறு செவ்வகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இச் செவ்வகத்தில் P என்பது AD என்ற பக்கத்தின் மேலும், Q என்பது BC பக்கத்தின் மேலும் இருக்கும். இப்பொழுது P, Q புள்ளிகளில் முறையே பரப்பு இழுவிசைகள் T_1, T_2 இருப்பதாகக் கொள்வோம். $ABCD$ என்னும் அமைப்புச் சமநிலையில் இருப்பதால்,

$$T_1 \times AD = T_2 \times BC$$

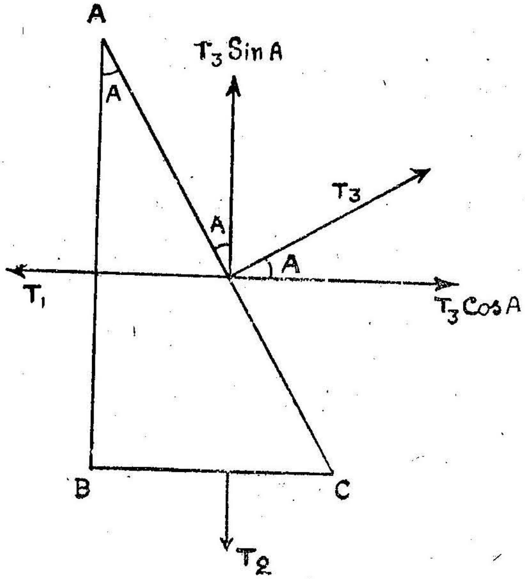
ஆனால் $AD = BC$

$\therefore \quad T_1 = T_2$

இவ்வாறே திரவத்தின் மேற்பரப்பில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் பரப்பு இழுவிசை சமமாக இருக்கும் எனக் காட்டலாம்.

ஒரு திரவப் பரப்பின் மேல் உள்ள பரப்பு இழுவிசை எல்லாத் திசைகளிலும் சமமே: திரவத்தின் மேற்பரப்பில் ABC என்னும்

ஒரு முக்கோணப் பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம். T_1, T_2, T_3 என்பவை முறையே AB, BC, CA பக்கங்களுக்குச் செங்குத்தான பரப்பு இழுவிசைகள் எனக் கொள்வோம். அப் பக்கங்களுக்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படும் விசைகள் முறையே $T_1 \cdot AB$, $T_2 \cdot BC$, $T_3 \cdot AC$ ஆகும். T_3 விசையைப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி $T_3 \cos A$



படம் 42.

என (T_1 திசையிலும், $T_3 \sin A$ என, T_2 திசையிலும் இரு கூறு, களாகப் பிரிக்கலாம்.)

இப்பொழுது BC பக்கத்திற்கு இணையாகச் செயற்படும் விசைக் கூறுகளின் கூட்டுத்தொகை,

$$= T_1 \times AB - T_3 \times AC \times \cos A$$

$$= T_1 \times AB - T_3 \times AC \times \frac{AB}{AC}$$

$$= T_1 \times AB - T_3 \times AB$$

$$= AB\,(T_1 - T_3)$$

இவ்வாறே AB பக்கத்திற்கு இணையாகச் செயற்படும் விசைக் கூறுகளின் கூட்டுத்தொகை

$$= T_2 \times BC - T_3 \times AC \times \sin A$$

$$= T_2 \times BC - T_3 \times AC \times \frac{BC}{AC}$$

$$= T_2 \times BC - T_3 \times BC$$

$$= BC\,(T_2 - T_3)$$

திரவத்தின் மேற்பரப்பு நிலையாக இருத்தலால், ABC என்னும் பகுதி சமநிலையில் இருக்கிறது. இது சமநிலையிலிருப்பின், கிடக்கை விசைக்கூறுகளின் கூட்டுத் தொகை $= 0$; அவ்வாறே செங்குத்து விசைக்கூறுகளின் கூட்டுத் தொகை $= 0$.

$$\therefore AB\,(T_1 - T_3) = 0 \;;\; BC\,(T_2 - T_3) = 0.$$

$$AB \neq 0$$

அதாவது,

$$T_1 - T_3 = 0$$

$$\therefore T_1 - T_3 = T_3$$

அவ்வாறே $BC \neq$

எனவே $T_2 - T_3 = 0$

$$\therefore \quad T_2 = T_3$$

$$\therefore T_1 = T_2 = T_3$$

இவ்வாறே திரவத்தின் பரப்பில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் முக்கோணத்தின் எல்லா நிலைகளையும் கருதிடின், பரப்பு இழுவிசை எல்லாத் திசைகளிலும் சமமே எனக் காட்டலாம். எனவே நிலையாக இருக்கும் ஒரு திரவப் பரப்பில் செயற்படும் பரப்பு இழுவிசை எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக இருக்கும்.

பரப்பு இழுவிசையும் வெப்பநிலையும்: பொதுவாக ஒரு திரவத்தின் வெப்பநிலை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க அதன் பரப்பு இழுவிசை குறைந்துகொண்டே செல்லும்.

பரப்பு இழுவிசையும் அசுத்தங்களும்: ஒரு திரவத்தில் அசுத்தங்கள் இருப்பின் அதன் பரப்புஇழுவிசை மிகவும் குறையும் நீரில் கற்பூரம் கலப்பினும் பரப்பு இழுவிசை குறையும்.

ஒரு கற்பூரத் துண்டை நீரின் மேல் வைத்தால், அதன் துகள்கள். இங்குமங்கும் அலைந்து திரியும். இது 'கற்பூர ஓட்டம்'

(Camphor motion) எனப்படுகிறது. இது எவ்வாறு ஏற்படுகிறது எனக் காண்போம். திரவத்தின் பரப்பில் சில பகுதிகளில் மற்றப் பகுதிகளைவிட கற்பூரம் மிக வேகமாகக் கரையும். அவ்வாறு கரையும்போது அதன் பரப்பு இழுவிசை குறையும். எனவே கரையாத பகுதிகளிலுள்ள பரப்பு இழுவிசையைவிட கரைந்த பகுதிகளில் பரப்பு இழுவிசைக் குறைவாக இருக்கும். எனவே கரைந்த பகுதிகளிலுள்ள திரவமும் அதனுடனிருக்கும் கற்பூரத் துகள்களும் கரையாத பகுதிகளால் ஈர்க்கப்படும். எனவே இவ்வகை நிகழ்ச்சியால் கற்பூரத் துகள்கள் இங்குமங்கும் ஓடுகின்றன.

காற்று வீசும்போது கடல்களில் உண்டாகும் அலைகளின் அதிகமான எழுச்சியை எண்ணெய் சேர்ப்பதன் மூலம் அடக்கலாம். அலைப் பகுதி ஒன்றன் மேல் எண்ணெய் ஊற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு செய்திடின் அதன் பரப்பு இழு விசை குறையும். எனவே காற்றினுல் எழுச்சி பெற அது முன் நகரும்போது அதிக பரப்பு இழுவிசையையுடைய எண்ணெய் கலக்காத புதிய நீரானது அதனைப் பின்னுக்கு இழுத்து எழுச்சியை அடக்கிவிடும். எனவே எண்ணெய் கொண்டு கடலலைகளின் எழுச்சியை அடக்கி அமைதியாக்கலாம்.

மூலக்கூறு அடுக்கு (Molecular layer): 'கற்பூர ஓட்டம்' என்னும் முன்னர்க் கூறிய நிகழ்ச்சியானது மிக மெல்லிய எண்ணெய் ஏடுகளின் (Oil films) தடிமத்தை அளக்கப் பயன்படுகிறது. நீரின்மேல் சிறிது எண்ணெய் கலந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். எண்ணெய் ஏட்டின் தடிமம் $2\mu\mu$ ($\mu = 10^{-7}$ செ. மீ.)வுக்குக் குறைவாக இருப்பின் கற்பூர ஓட்டம் நடைபெறும். எண்ணெய் ஏட்டின் தடிமம் அதற்கு மேற்படின் கற்பூர ஓட்டம் நின்றுவிடும். ஏனெனில் இப்பொழுது எண்ணெய் ஏட்டின் தடிமம் அதிகமிருப்பதால் கற்பூரம் நீரில் கரைந்து அதன் பரப்பு இழுவிசையைக் குறைக்க இயலாது. இவ்வாறு கற்பூர ஓட்டத்தைத் தடுப்பதற்குத் தேவையான எண்ணெய் ஏட்டின் தடிமத்தை, இந் நிகழ்ச்சியைக் கொண்டு அளக்கலாம்.

எண்ணெய் அடுக்கின் தடிமத்திற்கும் நீரின் பரப்பு இழுவிசையின் மாற்றத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினை ராலே கண்டறிந்தார். எண்ணெய் ஏட்டின் தடிமம் $1\mu\mu$க்குக் குறைவாக உள்ளவரையில் நீரின் பரப்பு இழுவிசையில் மாற்றமே ஏற்படுவதில்லை. ஆனுல், இது $1\mu\mu$விற்கு அதிகமாக ஆகிவிடின் பரப்பு இழுவிசை வேகமாகக் குறையும். ஆனுல், இது $2\mu\mu$வுக்கு மேல் அதிகரிப்பின் பரப்பு இழுவிசை படிப்படியாகக் குறையும். ராலேயின் கருத்துப்படி

எண்ணெயில் ஒரு மூலக்கூறின் விட்டமானது, அதாவது ஒரு மூலக்கூறு அடுக்கின் (Molecular layer) தடிமமானது $1\mu\mu$ ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 0·5 செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு நீர்த்துளி ஒரே அளவுள்ள 1000 சிறு துளிகளாகப் பகுக்கப்படத் தேவையான செயலைக் கணக்கிடுக. நீரின் பரப்பு இழுவிசை = 75 டைன்/செ.மீ. எனக் கொண்டு சிறு துளியின் உட்புற அழுத்த மிகுதியையும் காண்க.

சிறு துளியின் ஆரம் $= r$ எனக் கொள்க

சிறு துளி ஒன்றின் பருமஅளவு $= \frac{4}{3}\pi r^3$ க.செ.மீ.

1000 சிறு துளிகளின் பருமஅளவு $= \frac{4}{3}\pi r^3 \times 1000$ க.செ.மீ.

பெருந்துளியின் பருமஅளவு $= \frac{4}{3}\pi (0{\cdot}5)^3$ க.செ.மீ.

எனவே,

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \times 1000 = \frac{4}{3}\pi (0{\cdot}5)^3$$

$$\therefore r \qquad r^3 = \frac{0{\cdot}5 \times 0{\cdot}5 \times 0{\cdot}5}{1000}$$

$$\therefore r = 0{\cdot}05 \text{ செ.மீ.}$$

1000 சிறு துளிகளின் புறப்பரப்பு $= 4\pi (0{\cdot}05)^2 \times 1000$

பெருந்துளியின் புறப்பரப்பளவு $= 4\pi (0{\cdot}5)^2$

எனவே பரப்பு மிகுதி $= 4\pi (0{\cdot}05)^2 \times 1000 - 4\pi (0{\cdot}5)^2$

$$= 4\pi (0{\cdot}05^2 \times 1000 - 0{\cdot}5^2)$$

$$= 4\pi \times 2{\cdot}25 \text{ ச.செ.மீ.}$$

செய்யப்படும் செயலின் அளவு $\}$ = பரப்பு மிகுதி × பரப்பு இழுவிசை

$$= 4\pi \times 2{\cdot}25 \times 75$$

$$= 675 \text{ எர்குகள்}$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{சிறு துளியின் உட்புற}\\ \text{அழுத்த மிகுதி}\end{array}\right\} = \frac{2T}{r}$$

$$= \frac{2 \times 75}{0{\cdot}05}$$

$$= 3000 \text{ டைன்/ச.செ.மீ.}$$

(2) ஒரு நுண்குழாயில் நீர் 5 செ.மீ. உயரத்திற்கு ஏறுகிறது. அதே குழாயில் பாதரசம் 1·54 செ.மீ. இறங்குகிறது. நீர், பாதரசம் இரண்டின் பரப்பு இழுவிசைகளை ஒப்பிடுக. பாதரசத்தின் சேர் கோணம் = 130°

பொதுவாக

$$T \cos \theta = \frac{hrg\,\rho}{2}$$

$$\therefore h = \frac{2T \cos \theta}{\rho\, gr}$$

நீருக்கு $\theta = 0,\ \rho = 1$

$$\therefore h_1 = \frac{2T_1}{g \times r}$$

பாதரசத்திற்கு

$$h2 = \frac{2T_2 \cos 130^\circ}{13{\cdot}6 \times g \times r}$$

$$= -\frac{2T^2 \times 0{\cdot}6423}{13{\cdot}6 \times g \times r}$$

எனவே $$\frac{h_1}{h_2} = -\frac{T_1 \times 13{\cdot}6}{T_2 \times 0{\cdot}6423}$$

$$\therefore \frac{T_1}{T_2} = -\frac{0{\cdot}6423}{13{\cdot}6} \times \frac{h_1}{h_5}$$

$$= -\frac{0{\cdot}6423}{13{\cdot}6} \times \frac{5}{(-1{\cdot}54)}$$

$$= 0{\cdot}1535$$

நீர், பாதரசம் இவைகளின் பரப்பு இழுவிசைகளின் தகவு
$= 0{\cdot}1535.$

(3) விட்டம் 0·1 மி.மீ. உள்ள ஒரு நுண்குழாய் செங்குத்தாய் நீரில் அமிழ்த்தப்பட்டிருக்கிறது. நீரின் பரப்பு இழுவிசையை

72 டைன்/செ.மீ. எனக் கொண்டு, குழாயில் நீரேற்றத்தைக் காண்க.

நீரின் பரப்பு இழு விசை $T = \frac{(h + r/3)\rho rg}{2}$

$$\therefore h = \frac{2T}{\rho rg} - \frac{r}{3}$$

T = 72 டைன்/செ.மீ.

r = 0·005 செ.மீ.

g = 980 செ.மீ./விநாடி²

ρ = 1 கிராம்/க.செ.மீ.

$$\therefore h = \frac{2 \times 72}{1 \times 980 \times 0{\cdot}005} - \frac{0{\cdot}005}{3}$$

= 29·39 செ.மீ.

(4) சோப்புக் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசை 20 டைன்கள்/செ.மீ. ஆனால், அக் கரைசலால் 3 செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு சோப்புக் குமிழ் ஊத ஆகும் செயலின் அளவினைக் கணக்கிடுக.

சோப்புக் குமிழ் ஊதுவதால் விளையும் பரப்பு மிகுதி $\Big\}$ $= 2 \times 4\pi \times 3^2$

(குமிழ் ஆனதால் இரு பரப்புகள் கொள்ள வேண்டும்)

செய்யப்படும் செயல் = பரப்பு மிகுதி × பரப்பு இழுவிசை.

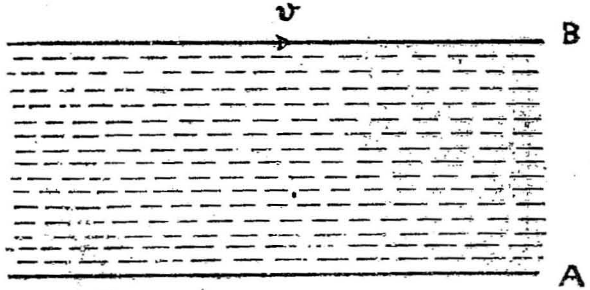
$= 2 \times 4\pi \times 3^2 \times 20$

= 4526 எர்குகள்.

5. பாகியல்

(Viscosity)

ஒரு கிடைமட்டமான சமதளப் பரப்பின் மீது ஒரு திரவம் சீராக ஓடும்பொழுது, அச் சமதளப் பரப்பை ஒட்டிச் செல்லும் திரவத்தின் அடுக்கு (Liquid layer) நிலையாகவும், திரவப் பரப்பின் மேலேயுள்ள அடுக்கு மிகுந்த திசை வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டும் இருக்கும். இவ்விரு அடுக்குகளுக்கிடையேயுள்ள மற்ற அடுக்குகளின் திசை வேகங்கள் சமதளப் பரப்பிலிருந்து மேலே செல்லச் செல்ல அதிகமாகிக்கொண்டே வரும்.



படம் 43.

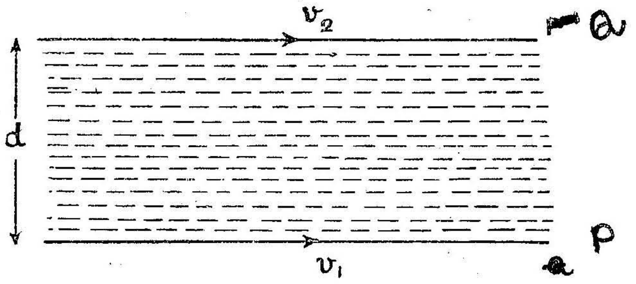
இதன்படி, படத்தில், சமதளப் பரப்பை ஒட்டிய A அடுக்கு நிலையாக இருக்கும். மேலே உள்ள B அடுக்கு மிகுந்த திசை வேகத்துடன் அம்புக்குறி காட்டும் திசையில் இயங்கும். இங்கு A, B ஆகிய அடுக்குகளுக்கிடையேயுள்ள திசைவேக வேறுபாடு இருத்தலால் அவற்றிற்கிடையே ஓர் ஒப்புத் திசை வேகம் (Relative Velocity) உள்ளது. இயற்கையாகவே திரவத்தில், Bயின்

ஓட்டத் திசைக்கு எதிராக அதன் திசை வேகத்தைக் குறைக்க முயலும் ஒரு விசை இயங்கும். அதே போல், நிலையாக உள்ள *A* அடுக்கின் மேல், அதனை *B*யின் திசையில் இயங்க வைக்க முயலும் ஒரு விசையும் உண்டு. திரவத்திலுள்ள இவ் விசைகள் அதன் அடுக்குகளுக்கிடையேயுள்ள ஒப்புத் திசை வேகத்தினை அழிக்க முயலும் இயல்பு பெற்றது. திரவங்களுக்குப் பொதுவான இவ் வியல்பினையே பாகுநிலை என அழைக்கிறோம். திரவங்களின் அடுக்குகளின் மேல், அவற்றிற்கிடையேயுள்ள ஒப்புத் திசை வேகத்தினை அழிக்க முயலும் வண்ணம் அமையும் தொடுவியல் விசைகளையே (Tangential forces) பாகுநிலை விசைகள் (Viscous forces) என்கிறோம்.

இயக்கக் கொள்கையின் அடிப்படையில் திரவங்களின் பாகு நிலைக்கு விளக்கம்: இயக்கக் கொள்கையின் (Kinetic Theory) அடிப்படையில் திரவங்களின் பாகுநிலைக்கு விளக்கம் கொடுக்கலாம். இயக்கக் கொள்கையின்படி ஒரு திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் இங்குமங்கும் நகர்ந்து கொண்டும், ஒன்றோடு ஒன்று மோதிக் கொண்டும் இருக்கும். மேற்கூறியவாறு, ஒரு சீரான திரவ ஓட்டத்தைக் கருதுவோமானால், அத் திரவத்திலுள்ள மூலக் கூறுகளும் இத்தகைய இயக்கத் தன்மையைப் பெற்றிருக்கும். இதனால் மூலக்கூறுகள் *A*-க்கும், *B*-க்கும் இடையே நகர்ந்து கொண்டே இருக்கும். இவ்வாறு நகர்வதால் *B* அடுக்குக்கு வரும் மூலக்கூறுகள் *B*யின் திசை வேகமான v யினைப் பெறுகின்றன. பின்னர் அவை திரும்பும்போது மற்ற மூலக்கூறுகளுடன் மோதுகின்றன. அவ்வாறு அவை மோதும்போது, *B* அடுக்கிலிருந்து தாம் பெற்ற உந்தத்தினைத் தாம் மோதும் மூலக் கூறுகளுக்கு அளிக்கின்றன. இவ்வாறு *B*யிலிருந்து பெறப்பட்ட உந்தமானது படிப்படியாக மூலக்கூறுகளுக்கிடையே மாற்றப்பட்டு இறுதியாக *A* அடுக்கினை அடைகிறது. இவ்வகை நிகழ்ச்சியினால், *B* அடுக்குத் தொடர்ச்சியாக உந்தத்தை இழந்து கொண்டும், *B*யின் திசையில் இயங்கும் அவ்வுந்தத்தினை *A* அடுக்குத் தொடர்ச்சியாகப் பெற்றுக் கொண்டும் இருக்கிறது. *B* அடுக்கு இழக்கும் உந்த வீதமும், *A* அடுக்குப் பெறும் உந்த வீதமும் பாகு விசைகளாக, *B*யின் இயக்கத்தை நிறுத்த முயன்று கொண்டும், *A* அடுக்கினை *B*யின் திசையில் இயக்க முயன்று கொண்டும் இருக்கின்றன.

பாகியல் எண் அல்லது பாகுநிலை எண் (Coefficient of viscosity): ஒரு திரவத்தில் *P*, *Q* என்ற அடுக்குகளின் திசை வேகங்கள் முறையே v_1, v_2 எனவும், அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவு d எனவும் கொள்வோம். அத் திரவத்தின் பாகுநிலை விசையானது

அது செயற்படும் பரப்பிற்கும் திசைவேக வாட்டத்திற்கும் (Velocity Gradient) நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.



படம் 44.

அதாவது,

$$F \propto A$$

$$\propto \frac{(v_2-v_1)}{d}$$

$$\therefore F \propto A\frac{(v_2-v_1)}{d}$$

அல்லது

$$F = \eta A \frac{(v_2-v_1)}{d} \quad \left[\begin{array}{c} \text{இங்கு} \\ \eta = \text{மாறிலி} \end{array}\right]$$

இதில், $A = 1, \quad \frac{(v_2-v_1)}{d} = 1$ எனின் η Fஆகும்.

அதாவது, "ஒரு திரவத்தில் ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்பட்டு ஓரலகு திசைவேக வாட்டத்தினை உண்டாக்கும் தொடு விசையே அத் திரவத்தின் பாகியல் எண் அல்லது பாகுநிலை எண்" ஆகும்.

இது $C.G.S.$ அலகுகளில் டைன்/ச.செ.மீ. ஓரலகு திசைவேக வாட்டம் எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதனைப் பாய்சு (Poise) என்றும் அழைக்கலாம்.

$$\text{மேலும் திசைவேக வாட்டம்} = \frac{\text{திசைவேக வேறுபாடு}}{\text{தொலைவு}}$$

$$= \frac{\text{தொலைவு/நேரம்}}{\text{தொலைவு}}$$

$$= \frac{1}{\text{நேரம்}}$$

என்வே பாகுநிலை எண்ணை, *C.G.S* அலகுகளில் டைன்-விநாடி/ச.செ.மீ. எனவும் குறிப்பிடலாம்.

MKS அலகுகளில், இது, நியூட்டன்/சதுரமீட்டர்/ஓரலகுத் திசைவேக வாட்டம் எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதனை மேற் சொன்னவாறு நியூட்டன்-விநாடி/சதுரமீட்டர் எனவும் குறிக்கலாம்.

பாகியல் எண்ணின் பரிமாணங்கள் :—

$$\eta = \frac{F/A}{\frac{(v_2-v_1)}{d}}$$

$$= \frac{F}{A} - \frac{d}{(v_2-v_1)}$$

$$= \frac{M \cdot LT^{-2}}{L^2} \times \frac{L}{LT^{-1}}$$

$$= ML^{-1}\ T^{-1}$$

பாகியல் எண்ணும் வெப்பநிலையும்: ஒரு திரவத்தின் வெப்ப நிலை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க அதன் பாகியல் எண் குறைந்து கொண்டே செல்லும்.

நுண் குழாயின் வழியே திரவ ஓட்டம் (Flow of liquid through a Capillary tube)

வரிச் சீரியக்கமும் கொந்தளிப்பு ஓட்டமும் (Stream - lined Motion and Turbulent Motion): ஒரு நுண்குழாயின் வழியே ஒரு திரவம் ஓடிக்கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். குழாயின் சுவரையொட்டிய திரவ அடுக்குகள் நிலையாகவும், குழாயின் அச்சு வழியே செல்லும் அடுக்கு மிகுந்த திசை வேகத்துடனும் ஓடிக் கொண்டிருக்கும். எனவே, அடுக்குகளுக்கிடையே ஒப்புத் திசை வேகம் இருப்பதால், அதனை அழிக்க முயலும் பாகுநிலை விசைகள் திரவத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும். எனவே தொடர்ச்சியான சீரான திரவ ஓட்டம் வேண்டின் மிக அதிகமில்லாத ஒரு நிலையான புற விசையினைச் செலுத்திக்கொண்டே இருத்தல் வேண்டும். இவ் விசைக்குட்பட்ட திரவம் சீராக இயங்குவதால், அதனுடைய பல்வேறு அடுக்குகள் சீராகவும், மெதுவாகவும், குழாயின் அச்சுக்கு இணையாகவும் ஓடிக்கொண்டிருக்கும். இத்தகைய

சீரான திரவ ஓட்டமானது 'வரிச் சீரியக்கம்' (Stream-lined-motion) எனப்படுகிறது. செலுத்தப்படும் புறவிசை மிக அதிகமாக இருக்குமாயின், திரவ ஓட்டத்தின் திசை வேகமும் மிக அதிகமாகி, திரவ அடுக்குகள் சீரற்று ஓடும். இவ்வகைத் திரவ ஓட்டத்தினையே 'கொந்தளிப்பு ஓட்டம்' என்கிறோம். ஒரு திரவத்தின் 'வரிச் சீரியக்கம்' அத் திரவத்தின் எந்தத் திசை வேகத்தில் கொந்தளிப்பு ஓட்டமாக மாறத் தொடங்குகிறதோ, அத் திசை வேகத்தினையே அத் திரவத்தின் 'மாறுநிலைத் திசைவேகம்' (Critical velocity) என அழைக்கிறோம்.

ஒரு திரவத்தின் மாறுநிலைத் திசைவேகம்.

$$V_C = \frac{K\eta}{rd} \text{ எனக் காட்டலாம்}$$

இங்கு K என்பது ஒரு மாறிலி; η திரவத்தின் பாகியல் எண்; r நுண்குழாயின் ஆரம்; d திரவத்தின் அடர்த்தி. இங்கு η அதிகமாகவும் r, d ஆகியவைக் குறைவாகவும் இருப்பின் V_C அதிகமாக இருக்கும். எனவே பாகியல் எண் அதிகமுள்ள ஒரு திரவம் குறுகிய ஆரமுள்ள ஒரு நுண்குழாயின் வழியே ஓடுமாயின், அதன் ஓட்டம் பெரும்பாலும் வரிச் சீரியக்கமாக அமையும்.

பாய்சலின் வாய்பாடு (Poiseuille's formula): ஒரு நுண் குழாயின் வழியே வரிச் சீரியக்கத்துடன் ஒரு திரவம் ஓடிக்கொண்டிருக்குமாயின், குழாயினுள் ஒரு வினாடியில் செல்லும் திரவத்தின் கன அளவு, குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள அழுத்த வேறுபாடு, குழாயினுடைய ஆரத்தின் நான்மடி ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்திலும், திரவத்தின் பாகுநிலை எண், குழாயின் நீளம் ஆகியவற்றிற்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கும் என பாய்சல் கண்டறிந்தார்.

எனவே

$$V \propto p$$
$$\propto a^4$$
$$\propto \frac{1}{\eta}$$
$$\propto \frac{1}{l}$$
$$\therefore \quad V \propto \frac{pa^4}{l\eta}$$

$$\text{அல்லது} \quad V = \frac{K.pa^4}{l\eta}$$

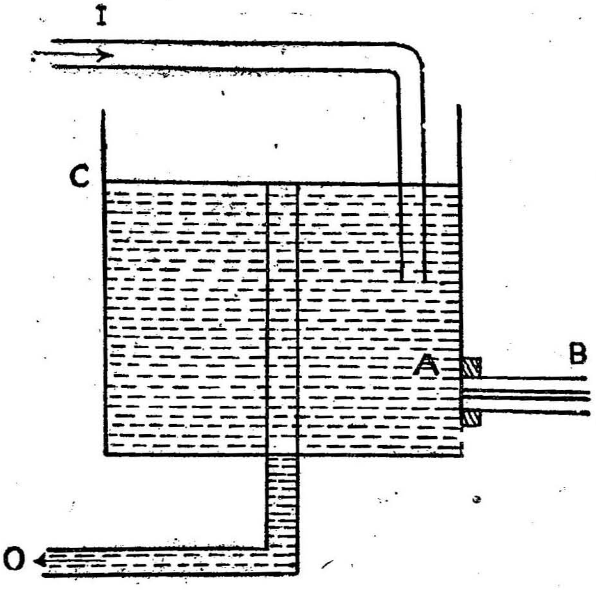
இங்கு V என்பது ஒரு விநாடியில் செல்லும் திரவத்தின் கன அளவையும், l நுண்குழாயின் நீளத்தையும், a ஆரத்தையும், n பாகியல் எண்ணையும் குறிக்கின்றன.

K என்பது ஒரு மாறிலி. அதன் மதிப்பு $\pi/8$ எனச் செய்முறை மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருப்பதால்,

$$V = \frac{\pi p a^4}{8 l \eta}$$

இதுவே பாய்சலின் வாய்பாடாகும்.

திரவத்தின் பாகியல் எண்ணை பாய்சலின் செய்முறை கொண்டு கண்டு பிடித்தல்: படத்தில் காட்டியுள்ள ஆய்கருவி (apparatus) மாறா அழுத்த முகடுடைய அமைப்பாகும் (Constant



படம் 45. பாகியல் எண்-மாறா அழுத்தமுகடு

pressure-head arrangement). இப்பாகத் திரவத்தில் திரவமட்டம் நிலையானதாக ஆக்கப்பட்டிருப்பதால் அழுத்தம் மாறாததாக உள்ளது. படத்தில், I என்பது திரவம் நுழையும் வழி; O என்பது திரவம்

வழிந்து செல்லும் வழி. திரவ மட்டம் C-க்கு மேலே உயரும்போது அத் திரவம் Oவின் வழியே வெளியேறி விடுவதால் திரவ மட்டம் எப்போதும் Cயிலேயே நிலையாக இருக்கும்.

படத்தில் காட்டியபடி, இப் பாத்திரத்தின் அடிப்புறத்தில் AB என்னும் நுண்குழாயொன்று கிடைமட்டமாகப் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. நுண்குழாயின் வழியே வரும் திரவத்தின் திசை வேகம் சீரானவுடன் நிறை தெரிந்த ஒரு முகவையை (Beaker) Bயின் கீழ் வைத்து, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குத் (t விநாடிகளுக்கு) திரவத்தைப் பிடித்து அதன் நிறையைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். இதிலிருந்து திரவத்தின் நிறையைக் (m கிராம்கள்) கணக்கிடலாம்.

பின்னர், திரவத்தின் அடர்த்தியினை (d) 'ஹேரின் ஆய்கருவி' கொண்டும், நுண்குழாயின் ஆரத்தினை (a) பாதரச இழை முறையிலும், (Mercury thread method) கண்டு பிடிக்கவேண்டும். இனி, குழாயின் நீளத்தையும் (l), அழுத்த முகட்டின் உயரத்தையும் (அதாவது, C-க்கும், ABயின் அச்சிற்கும் இடையேயுள்ள உயரம் h) அளக்கவேண்டும்.

பாய்சலின் வாய்பாட்டின்படி,

$$V = \frac{\pi p a^4}{8 l \eta}$$

அதாவது, $$\frac{m/d}{t} = \frac{\pi h g d a^4}{8 l \eta}$$

இங்கு V என்பது ஒரு விநாடியில் வெளியேறும் திரவத்தின் பரும அளவாகும்.

$$\frac{m}{d\,t} = \frac{\pi h g d a^4}{8 l \eta}$$

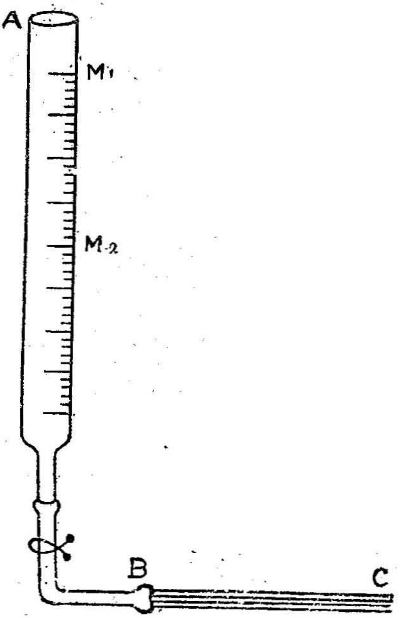
$$\therefore \quad \eta = \frac{\pi h g d^2 a^4 t}{8 l m} \text{ பாய்சுகள்.}$$

இச் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திப் பாகியல் எண் η-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைப் பியூரெட்டைப் பயன் படுத்திக் கண்டுபிடித்தல்: கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தின் அளவு குறைவாக இருக்குமாயின், மேற்சொன்ன மாறா அழுத்த முகடு முறையைப் பயன்படுத்த இயலாது. எனவே இங்குப் பியூட்ரெட்டைப் பயன்படுத்திப் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

படத்தில் காட்டியுள்ளபடி, அளவீடுகள் குறிக்கப் பெற்றுள்ள A என்னும் பியூரெட்டின் அடிமுனையில், பிடிப்பான் (Clip) பொருத்

தப்பட்டுள்ள ஒரு இரப்பர்க் குழாயைக் கொண்டு BC என்னும் ஒரு நுண்குழாயைக் கிடைமட்டமாகப் பொருத்தவேண்டும். பின்னர் அப் பியூரெட்டில், கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தை நிரப்பி, M_1 அளவுக் குறியிலிருந்து M_2 அளவுக் குறிக்குத் திரவமட்டம் இறங்க எடுத்துக்



படம் 46. பாகியல் எண் - பியூரெட் முறை

கொள்ளும் நேரத்தை (T seconds) ஒரு நிறுத்துக் கடிகாரத்தைப் பயன்படுத்திக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். M_1, M_2 அளவுக் குறிகள் நுண்குழாயின் அச்சிலிருந்து முறையே h_1, h_2 செ.மீ. உயரத்தில் இருக்குமாயின், சராசரி உயரத்தை $h = \frac{h_1 + h_2}{2}$ எனக் கொள்ள லாம். M_1-க்கும், M_2-க்கும் இடையேயுள்ள திரவத்தின் கன அளவு V க.செ.மீ. இருக்குமானால், பாய்சலின் வாய்பாட்டின்படி,

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi\left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)gda^4}{8l\eta}$$

$$\therefore \quad \eta = \frac{\pi(h_1 + h_2)gda^4}{16\left(\frac{V}{t}\right)l} \text{ பாய்சுகள்}$$

இச் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்தித் திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

இரு திரவங்களின் பாகியல் எண்களை ஒப்பிடுதல்: இரு திரவங்களின் பாகியல் எண்களை, மேற்கூறிய பியூரெட் முறை, ஆஸ்வால்டு பாகியல் மானி முறை ஆகியவற்றின் மூலம் ஒப்பிடலாம்.

(i) **பியூரெட் முறை:** நீர், ஏதாவது மற்றொரு திரவம் (சான்றாக மண்ணெண்ணெய்) ஆகியவற்றின் பாகியல் எண்களாவன η_1, η_2 ஆகியவற்றை ஒப்பிடவேண்டுமானால், மேற்கூறிய செய்முறையின்படி, M_1 அளவுக்குறியிலிருந்து நீரின் மட்டம் M_2 அளவுக் குறிக்கு இறங்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தை (t_1 வினாடிகள்) நிறுத்துக் கடிகாரத்தைப் பயன்படுத்திக் கண்டு பிடிக்கவேண்டும். பின்னர் கொடுக்கப்பட்ட திரவமான மண்ணெண்ணெயைப் பியூரெட்டில் நிரப்பி அதன் மட்டம். M_1 அளவுக் குறியிலிருந்து M_2 அளவுக்குறிக்கு இறங்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைக் (t_2 வினாடிகள்) கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

இங்குச் சராசரி அழுத்தம் இரு திரவங்களுக்கும் சமமே.

எனவே பாய்சலின் விதிப்படி,

நீருக்கு, $$\frac{V}{t_1} = \frac{\pi p_1 a^4}{8l\eta_1}$$

அல்லது,

$$\eta_1 = \frac{\pi p_1 a^4}{8\left(\frac{V}{t_1}\right)l} \qquad \dots (1)$$

திரவத்திற்கு, $$\frac{V}{t_2} = \frac{\pi p_2 a^4}{8l\,\eta_2}$$

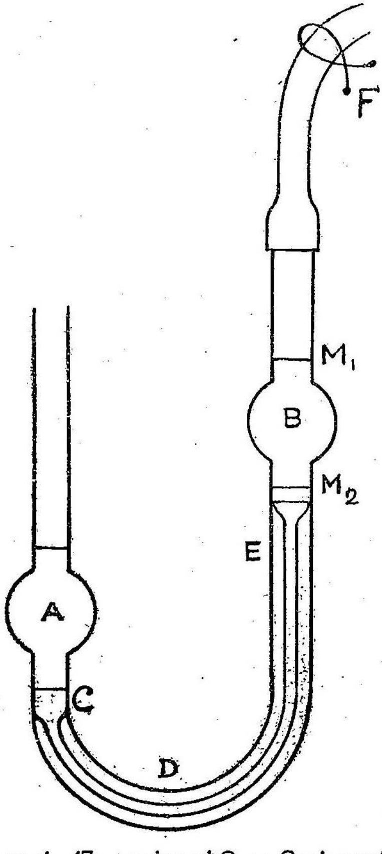
அல்லது,

$$\eta_2 = \frac{\pi p_2 a^4}{8\left(\frac{V}{t_1}\right)l} \qquad \dots (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{p_1 t_1}{p_2 t_2} = \frac{hg\,d_1\,t_1}{hg\,d_2\,t_2} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{t_1}{t_2}$$

இங்கு d_1, d_2 என்பவை முறையே நீர், திரவம் ஆகியவற்றின் அடர்த்தியாகும். d_1/d_2-வை ஹேரின் ஆய்கருவி கொண்டு கண்டு பிடித்தால், மேற்கண்ட வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி $\frac{\eta_1}{\eta_2}$ வைக் கணக்கிடலாம்.

(ii) ஆஸ்வால்டு பாகியல் மானி முறை: (Ostwald's Viscosity pipette method): இரு திரவங்களின் பாகியல் எண்களை ஒப்பிடப் பயன்படும் இந்த ஆய்கருவி A, B என்னும் இரு கோள வடிவ குமிழ்களை உடையது. இக் குமிழ்கள் CDE என்னும் நுண் குழாயினால் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. M_1, M_2 என்பவை குமிழ் B-க்கு மேலேயும், கீழேயும் உள்ள குறியீடுகள் ஆகும்.



படம் 47. ஆஸ்வால்டு பாகியல் மானி

முதலில் கொடுக்கப்பட்ட திரவங்களில் ஒன்றை A-யில் ஊற்றி அது B-க்கு வருமாறு உறிஞ்சவேண்டும். திரவமட்டம் M_1-க்கு மேலே இருக்குமாறு பிடிப்பானைப் பொருத்தவேண்டும். இப்பொழுது பிடிப்பானைத் தளர்த்தினால் திரவ மட்டம் இறங்கி வரும். திரவ மட்டம் M_1-க்குச் சரியாக இறங்கிவரும்போது ஒரு நிறுத்துக் கடிகாரத்தைத் தொடக்கி திரவமட்டம் M_1 லிருந்து M_2-க்கு இறங்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் (t_1 வினாடிகள்) கண்டுபிடிக்கவேண்டும். பின்னர் திரவத்தை ஆய்கருவியிலிருந்து அகற்றிவிட்டு இரண்டாவது திரவத்தை முன்னர் கூறியபடியே M_1-க்கு மேலே வருமாறு நிரப்பவேண்டும். இப்பொழுது இரண்டாவது திரவம் M_1 லிருந்து M_2-க்கு இறங்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் (t_2 வினாடிகள்) கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

முதல் செய்முறையில் பயன்படுத்திய,

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{t_1}{t_2}$$

எனும் வாய்பாடு இங்கும் பொருந்தும். எனவே $\frac{d_1}{d_2}$-வை ஹேரின் ஆய்கருவி கொண்டு கண்டுபிடித்து $\frac{\eta_1}{\eta_2}$ வைக் கண்டறியலாம்.

இரு நுண்குழாய்களின் ஆரங்களை ஒப்பிடுதல்: முன்னர் கூறிய பியூரெட்டு முறையைப் பயன்படுத்தி, இரு நுண்குழாயின் ஆரங்களை ஒப்பிடலாம். முதலில் l_1 நீளமும் a_1 ஆரமும் பெற்ற முதல் நுண்குழாயைப் பயன்படுத்தி, பியூரெட்டில் நீரை நிரப்பி, நீர் மட்டம் M_1 அளவுக் குறியிலிருந்து M_2 அளவுக்குறிக்கு இறங்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைக் (t_1 விஞடிகள்) கண்டுபிடிக்க வேண்டும். பின்னர் அதே நீரைப் பயன்படுத்தி, l_2 நீளமும் a_2 ஆரமும் கொண்ட இரண்டாவது நுண்குழாயைப் பொருத்தி நீர் மட்டம் M_1 லிருந்து M_2-க்கு இறங்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைக் (t_2 விஞடிகள்) கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

பாய்சவின் வாய்பாட்டின்படி,

$$\frac{V}{t_1} = \frac{\pi P a_1^4}{8 l_1 \eta} \quad \text{அல்லது}$$

$$a_1^4 = \frac{8 l_1 \eta \left(\frac{V}{t_1}\right)}{\pi p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

அதேபோல்

$$\frac{V}{t_2} = \frac{\pi p a_2^4}{8 l_2 \eta} \quad \text{அல்லது}$$

$$a_2^4 = \frac{8 l_2 \eta \left(\frac{V}{t_2}\right)}{\pi p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

முதன் சமன்பாட்டை இர டாம் சமன்பாட்டால் வகுக்க,

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{a_1^4}{a_2^4} = \frac{l_1/t_1}{l_2/t_2}$$

$$\frac{a_1^4}{a_2^4} = \frac{l_1 t_2}{l_1 t_2}$$

$$\therefore \frac{a_1}{a_2} = \sqrt[4]{\frac{l_1 t_2}{l_2 t_1}} = \left[\frac{}{l_1 t_2}\right]^{\frac{1}{4}}$$

உராய்வுத் தடை (Lubrication): உராய்வு விசையின் இன்றியமையாமையினை நாமறிவோம். உராய்வு விசையால்தான் திருகு மறைகள், ஆணிகள், திருகாணிகள், முதலானவை மற்றப் பொருள்களை இறுகப் பற்றிக் கொள்கிறது. கார் ஓடுவதற்கும், பொருள்களைத் தூக்குவதற்கும் உராய்வு விசை இன்றியமையாதது. ஆனல், இத்தகைய உராய்வு விசை மிகுந்திருப்பின் இயந்திரங்களின் இயக்கம் பெரிதும் தடைப்படுவதோடன்றி அவற்றின் பயனுறு திறன் குறைந்து இயந்திரங்களில் வெப்பம் தோற்றுவிக்கப்

படுகிறது. மேலும் இதனால் இயந்திரப் பகுதிகள் தேய்வுறுகின்றன. இவற்றைத் தடுக்க, உராய்வு விசை குறைவாக இருத்தல்வேண்டும். இதற்காகத்தான் இயந்திரங்களில் குண்டு பொதிகைகளும்; உராய்வு காப்புப்பொருள்களும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. உராய்வு விசையைக் குறைக்கப் பெரும்பாலும் பாகியல் எண் அதிகமுடைய திரவமே உராய்வுக் காப்புப் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இருதிடப் பொருள்களின் பரப்புகளுக்கிடையே உராய்வுக் காப்புப் பொருளொன்றின் மென் ஏடு இருந்தால் உராய்வு விசை பெரிதும் குறைக்கப்பட்டுப் பொருள்கள் எளிதாக இயங்க முடியும்.

நன்றாக உராய்வுத் தடையிடப்பட்ட பரப்புகளுக்கிடையேயுள்ள உராய்வு விசை அப் பரப்புகளின் தன்மையினையோ அல்லது அவை ஒன்றின்மேல் ஒன்று அழுத்தும் விசையினையோ பொறுத்த தல்ல. அது உராய்வுக் காப்புப் பொருளையும், பரப்புகளுக்கிடையே யுள்ள ஒப்புத் திசை வேகத்தையும் பொறுத்தது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு உராய்வுக் காப்புப் பொருள் இரு பரப்புகளுக்கிடையே இருப்பின் அவற்றிற்கிடையே தோன்றும்.

உராய்வு விசை $= \frac{A\eta v}{d}$ எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இங்கு

A = ஒன்றையொன்று தொடும் பரப்பளவு; d = இரு பரப்பு களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு; v = பரப்புகளுக்கிடையேயுள்ள ஒப்புத் திசை வேகம்; η = உராய்வுக் காப்புப் பொருளின் பாகியல் எண்.

மேற்கண்ட உராய்வு விசை சமன்பாட்டின்படி பாகியில் எண் அதிகமுள்ள ஒரு திரவம் இரு பரப்புகளுக்கிடையே பயன்படுத்தப் படுமானால், பரப்புகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு dயும் அதிகமாகி உராய்வு விசையினைக் குறைக்கும். நடைமுறையில் மொபில் எண்ணெய் (Mobil oil), கிரீஸ் (Grease) போன்றவை மிகச் சிறந்த உராய்வுக் காப்புப் பொருளாகப் பயன்படுகின்றன. ஏனெனில் அவற்றின் பாகியில் எண் அதிகம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) பாய்சலின் முறைப்படி சோதனையில் கண்ட காட்சிப் பதிவீடுகள் வருமாறு :

ஒரு நிமிடத்தில் ஓடும் பருமஅளவு	=	7·08 க.செ.மீ
நீரழுத்த முகடு	=	34·1 செ.மீ
குழாயின் நீளம்	=	56·45 செ.மீ
குழாயின் ஆரம்	=	0.0514 செ.மீ

இவற்றிலிருந்து பாகியல் எண்ணைக் காண்க.

குழாயில் ஒரு விநாடியில் செல்லும் திரவத்தின் பருமஅளவு } $V = \frac{\pi p a^4}{8 l \eta}$

குழாயில் ஒரு நிமிடத்தில் செல்லும் திரவத்தின் பருமஅளவு } $V = \frac{\pi p a^4}{8 l \eta} \times 60$

எனவே $\eta = \frac{\pi p a^4}{8 l V} \times 60$

$$= \frac{\pi h g d a^4 \times 60}{8 l V}$$

இந்தக் கணக்கில்,

$V = 7{\cdot}08$ க.செ.மீ

$h = 34{\cdot}1$ செ.மீ

$a = 0{\cdot}0514$ செ.மீ

$l = 56{\cdot}45$ செ.மீ

இவற்றை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$\eta = \frac{\pi \times 34{\cdot}1 \times 1 \times 980 \times (0{\cdot}0514)^4 \times 60}{8 \times 56{\cdot}45 \times 7{\cdot}08}$$

$= 0{\cdot}0138$ டைன்கள்/ச.செ.மீ/ஓரலகு திசைவேக வாட்டம்

எனவே நீரின் பாகியல் எண் 0.0138 டைன்கள்/ச.செ.மீ/ஓரலகு திசைவேக வாட்டம் ஆகும்.

(2) 8 செ.மீ விட்டமும், 4 கிலோ மீட்டர் நீளமுள்ள கிடைமட்டமாக வைக்கப்பட்ட குழாயின் வழியே நிமிடத்திற்கு 1500 லிட்டர்கள் நீரோட்டமிருக்கத் தேவையான அழுத்த முகட்டைக் காண்க.

நீரின் பாகியல் எண் $= 0{\cdot}01$ பாய்சுகள்

விநாடியில் குழாயின் வழியே செல்லும் நீரின் பருமஅளவு } $V = \frac{\pi p a^4 \times t}{8 l \eta}$

இங்கு $V = 1500 \times 1000 = 1500000$ க.செ.மீ

$a = 4$ செ.மீ

$l = 400000$ செ.மீ

$\eta = 0{\cdot}01$ பாய்சுகள்

இவற்றை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$1500000 = \frac{\pi \times p \times 4^4 \times 60}{8 \times 400000 \times 0{\cdot}01}$$

$$\therefore p = \frac{1500000 \times 8 \times 400000 \times 0{\cdot}01}{\pi \times 256 \times 60}$$

$= 9{\cdot}949 \times 10^5$ டைன்கள்/ச.செ.மீ

அதாவது $9{\cdot}949 \times 10^{6}$ டைன்கள்/ச.செமீ உள்ள அழுத்த முகடு தேவையாகும்.

(3) இரு நுண்குழாய் விட்டங்களின் தகவு 3 : 1. நீளங்களின் தகவு 1 : 2. ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்தில் இவ்விரு நுண்குழாய்களின் வழியே வெளியேறும் திரவத்தின் பருமஅளவினை ஒப்பிடுக.

முதல் நுண்குழாயின் ஆரம், நீளம் முறையே a_1, l_1, என இருக்கட்டும். இரண்டாவது நுண்குழாயின் ஆரம், நீளம் முறையே a_2 ,l_2 என இருக்கட்டும்.

இப்பொழுது கணக்கில் கொடுத்துள்ளபடி,

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{3}{1}$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{2}$$

பொதுவாக,

ஒரு விநாடியில் குழாயின் வழியே செல்லும் நீரின் பருமஅளவு $\Big\}$ $V = \dfrac{\pi p a^4}{8 l \eta}$

முதல் நுண்குழாய்க்கு

$$V_1 = \frac{\pi p a_1^4}{8 l_1 \eta}$$

இரண்டாம் நுண் குழாய்க்கு

$$V_2 = \frac{\pi p a_2^4}{8 l_2 \eta}$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_2} = \frac{\pi p a_1^4}{8 l_1 \eta} \times \frac{8 l_2 \eta}{\pi p a_2^4}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{a_1^4}{a_2^4} \quad \frac{l_2}{l_1}$$

$$= \left(\frac{3}{1}\right)^4 \times 2$$

$$= 162$$

எனவே நுண்குழாய்களின் வழியே வெளியேறும் திரவத்தின் பருமஅளவு ஒப்பீடு $= 162.$

வெப்பவியல்

1. வெப்பநிலை அளவீடு

(Measurement of Temperature)

அறிமுகம் : மனிதனின் வாழ்க்கைக்குப் பயனளிக்கும் பல வகை ஆற்றல்களுள் வெப்ப ஆற்றல் மிக்க மதிப்புடைய தொன்றாகும். சூடோ அல்லது குளிரோ நம்மைத் தாக்குங்கால் நம்முள் ஏற்படும் புலன் உணர்வையே வெப்பம் என்று கூறுகிறோம். வெப்பம் அல்லது குளிர்ச்சியின் தரத்தைத் தெரிவிப்பது வெப்பநிலை ஆகும். ஒரு பொருளின்கண் அடங்கியுள்ள மூலக் கூறுகளின் மொத்த இயக்க ஆற்றலே வெப்பம் எனப்படும். பொருளினுள் அடங்கியுள்ள வெப்ப அளவு மாறுபாடு எய்துங்காலை, அப் பொருளி னது வெப்பநிலையிலும் ஏற்றத்தாழ்வு அதற்கேற்ப உண்டாவதால், வெப்பம் வெப்பநிலை ஆகிய இரண்டையும் வினையும், விளைவும் என்று கூறுதல் சாலவும் பொருந்தும். மேலும் உயர் அழுத்த நிலையில் இருந்து குறைவான அழுத்த நிலைக்கு இருமட்டமும் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கும்வரை நீர் பாய்ந்து செல்வதுபோல உயர்ந்த வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து அதைவிடக் குறைவான வெப்ப நிலையில் உள்ள மற்றொரு பொருளுக்கு வெப்பம் செல்வதைக் காணலாம். இதனாலேயே நம் முன்னோர் வெப்பத்தை ஒரு பாய்பொருள் எனக் கருதி அதை கேலரிக் (Caloric) என அழைத்தனர். ஆனால் பின்னர் இக் கொள்கை கைவிடப்பட்டு வெப்பம் ஒருவகை ஆற்றலே என்பதைக் கண்டுணர்ந்தனர்.

வெப்பநிலை: நாம் ஒரு பொருளைத் தொடுவதால் ஏற்படும் உணர்வில் இருந்து அப் பொருளின் வெப்பநிலையை அளவிடுவதே மிகப் பழமையான முறையாகும். ஆனால், இம் முறை நுட்பமான தல்ல. உதாரணமாகக் குளிர்காலத்தில் உலோகத் துண்டு ஒன்றை யும் மரத்துண்டு ஒன்றையும் நாம் தொட்டுப் பார்த்தால் உலோகத்

துண்டு மரக்கட்டையைவிட குளிர்ச்சியாக இருப்பதுபோலத் தோன்றும். ஆனால், உண்மையில் இரண்டின் வெப்ப நிலைகளும் ஒன்றேயாகும். அதுபோலவே வெய்யிலில் இருந்து ஓர் அறைக்குள் நுழைந்தால் அந்த அறை குளிர்ச்சியாக இருப்பதை நாம் உணர லாம். எனவே ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையைத் துல்லியமாக அளவிட இம்முறை உகந்ததல்ல. எனவே நாம் பிழையற்ற, எளிதில் மீண்டும் எவ்விடத்திலும் உருவாக்கத்தக்க சீரிய முறையொன்றினை நிர்ணயித்தல் வேண்டும்.

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை மாறும்பொழுது, தொடர்ச்சியாக, சீராக அளவிட முடியுமளவிற்குப் பெரிதாக, மாறுபடக்கூடிய பொருளின் பௌதிகப் பண்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு அப் பொருளின் வெப்பநிலையினைத் துல்லியமாக அளவிட இயலும். சான்றாக வெப்பநிலையில் மாற்றம் நிகழும்பொழுது உருவாகும், திடத்திரவப் பொருள்களின் பெருக்கம், அழுத்தம் மாறா நிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமவேறுபாடு, பருமன் மாறாநிலையில் ஒரு வாயுவின் அழுத்த மாறுபாடு, ஓர் உலோகக் கம்பித் துண்டின் மின் தடை மாறுபாடு, வெப்பமின் இரட்டையின் (Thermocouple) சந்திகளின் வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கு ஏற்ப வெப்பமின்னியக்கு விசை மாறும்முறை முதலானவற்றுள் ஏதேனும் ஒன்றை அடிப் படையாகக்கொண்டு கருவி ஒன்றினை உருவாக்கி, ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம். இக் கருவியையே வெப்பநிலைமானி என்கிறோம்.

வெப்பநிலை அளவீட்டில், எல்லா வெப்பநிலைமானிகளுக்கும் பொதுவான தொடர்பு இருத்தலின் அவசியத்தை முன்னிட்டுச் சில நியதிகள் பின்பற்றப்படுகின்றன.

அவைகளாவன :

எவ்விடத்திலும் எளிதில் பிழையின்றி உண்டாக்கப்படக் கூடிய இரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைகளை ஒவ்வொரு வெப்பநிலை மானியிலும் சரியாகக் குறிக்கப்படவேண்டும். "இவ் வெப்பநிலை களைத் திட்ட வரைகள் (Fixed Points) என்று பெயரிட்டு அழைக் கின்றோம். திட்டவரைகளுக்கு இடைப்பட்ட பகுதியைக் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள சமகூறுகளாகப் பிரிக்கவேண்டும்.

படித்தரவளி (Standard Atmospheric) அழுத்தத்தில் (ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் மதிப்பு 980·665 செ.மீ./வினாடி என இருக்குமிடத்தில் 13·5951 கிராம்/க.செ.மீ. என அடர்த்தியுள்ள, 76 சென்டிமீட்டர் உயரமுள்ள பாதரச தம்பத்தின் அழுத்தம்) தூய பனிக்கட்டியின்

உருகுநிலையைக் கீழ்த் திட்டவரையாகவும், (Lower Fixed Point) படித்தரவளி அழுத்தத்தில் தூய நீரின் கொதிநிலையை மேல் திட்ட வரையாகவும் (Upper Fixed Point) கொள்கின்றோம். இவ்விரு திட்டவரைகளுக்கும் இடைப்பட்ட அடிப்படைப் பகுதியைச் சமகூறு களாகப் பிரிப்பதில் பலர் வெவ்வேறு முறைகளைக் கையாண்டுள்ள தால் பல வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைகள் உள்ளன. அவற்றுள் இன்று நடைமுறையில் உள்ளவை மூன்று ஆகும். அவைகள் சென்டிகிரேடு (Centigrad) முறை ஃபாரன்ஹைட் (Faharenheit) முறை, ராய்மர் (Reaumur) முறை என்பனவாம்.

1. **சென்டிகிரேடு முறை:** உலகம் முழுவதும் ஆய்வுக்கூடங் களில் பயன்படும் அளவீட்டு முறை இதுவேயாகும். இம் முறையில் கீழ்த்திட்டவரை $0°C$ எனவும், மேல் திட்டவரை $100°C$ எனவும் குறிக்கப்பெறும். திட்டவரைகளுக்கு இடைப்பட்ட அடிப்படைப் பகுதி நூறு சமகூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு உள்ளன.

2. **ஃபாரன்ஹைட் முறை:** இதில் திட்டவரைகளுக்கு இடைப் பட்ட அடிப்படைப் பகுதி 180 சமகூறுகளாகப் பிரிக்கப்படும். கீழ்த்திட்டவரை $32°F$ எனவும், மேல்திட்டவரை $212°F$ எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

3. **ராய்மர் முறை:** இம் முறையில் கீழ்த்திட்டவரையை $0°R$ என்றும், மேல்திட்டவரையை $80°R$ எனவும் குறிக்கின்றோம். இரு திட்டவரைகளுக்கும் இடைப்பட்ட அடிப்படைப் பகுதியை 80 சம கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பெறுகிறது.

இரண்டு திட்டவரைகளுக்கு இடையேயுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட அடிப்படைப் பகுதியைத்தான் $100, (212-32) = 180, 80$ சமகூறு களாகச் சென்டிகிரேடு, ஃபாரன்ஹைட், ராய்மர் முறைகளில், முறையே, பிரிக்கப்படுவதைக் காண்கின்றோம். எனவே C, F, R என்பவை, முறையே, ஒரு வெப்பநிலையைக் குறிக்கும் சென்டிகிரேடு அளவீடு, ஃபாரன்ஹைட் அளவீடு, ராய்மர் அளவீடு எனக் கொள்வோமேயானால்,

$$C : (F-32) : R = 100 : 180 : 80$$

எனவே,

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{R}{80}$$

அல்லது,

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{R}{4}$$

ஆகவே இச் சமன்பாட்டின் உதவியால் ஒரு வெப்பநிலை அளவீட்டில் கண்டறியப்பட்ட அளவீட்டினை, மற்ற இரு முறைகளுக்கும் எளிதில் மாற்ற இயலும்.

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை சீராக மாறுபடும்பொழுது, அதற்கேற்பச் சீராக வேறுபாடுகளை அடையும், அப் பொருளினதொரு பண்பினை x எனக் குறிப்போம். பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையிலும், தூய நீரின் கொதிநிலையிலும் அப் பொருளினது பண்பின் மதிப்புகளை முறையே x_0, x_{100} எனக் கொள்வோம். குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை $t°C$யில் அப் பண்பின் மதிப்பு xt என்போம்.

$O°C$யிலிருந்து $100°C$க்கு வெப்பநிலை உயரும்பொழுது பொருளின் பண்பில் ஏற்படும் மாறுபாடு $= x_{100} - x_0$

$O°C$யிலிருந்து $t°C$க்கு வெப்பநிலை உயரும்பொழுது பொருளின் பண்பில் ஏற்படும் மாறுபாடு $= xt - x_0$

$$\therefore \quad \frac{t}{100} = \frac{xt - x_0}{x_{100} - x_0}$$

அல்லது,

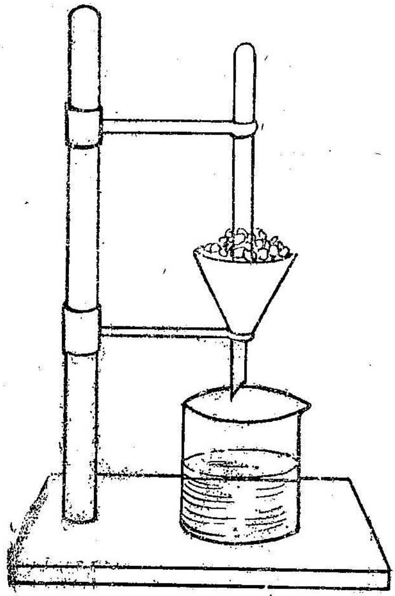
$$t = \frac{xt - x_0}{x_{100} - x_0} \times 100$$

பொருளின் வெப்பநிலை அளவீட்டிற்கு இச் சமன்பாடே அடிப்படையாகும்.

கண்ணடிக் குழாய் பாதரச வெப்பநிலைமானியைத் தயாரித்தல் : சீரான குறுக்குவெட்டுப் பரப்பினை உடைய மென்சுவர் நுண்குழாய் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். அதன் மேல் முனையில் புனல் ஒன்றும், கீழ் முனையில் உருளை வடிவக்குமிழ் ஒன்றும் பொருத்தப்படவேண்டும். குமிழையும் குழாயையும் நன்கு சுத்தம் செய்த பின்பு அதை உலர்த்திச் சிறிதளவு தூய உலர்ந்த பாதரசத்தைக் குழாய்க்கு மேலேயுள்ள புனலில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். குமிழினைச் சிறிதளவு சூடேற்றினால் அதிலுள்ள காற்று விரிவடைந்து வெளியேறும். இப்பொழுது குமிழ் பாகத்தைக் குளிரச் செய்தால் அங்குள்ள காற்றின் அழுத்தம் குறைந்து வெளிக் காற்றின் அழுத்தத்தால் புனலில் உள்ள பாதரசத்தில் சிறிதளவு குமிழிற்குள் தள்ளப்படும். இவ்வாறு குமிழை மாறிமாறி சூடுபடுத்திக் குளிரவைப்பதன் மூலம் தேவையான அளவு பாதரசம் குமிழிற்குள் வந்தடங்குமாறு செய்தல் வேண்டும். பிறகு குமிழில் உள்ள பாதரசத்தை நன்றாகக் கொதிக்கச் செய்தால் பாதரச ஆவி உள்ளே

இருக்கக்கூடிய காற்று முழுவதையும் வெளியேற்றிவிடும். பின்பு கருவியைக் குளிரச் செய்தால் பாதரச ஆவி பாதரசமாக மாறி, குமிழையும், குமிழிற்குமேல் குழாயின் சிறிதளவு பகுதியையும் நிரப்பும். இறுதியாக எந்த வெப்பநிலைவரை அளக்க இவ் வெப்ப

படம் 48. பாதரச வெப்பநிலை மானியைத் தயாரித்தல்



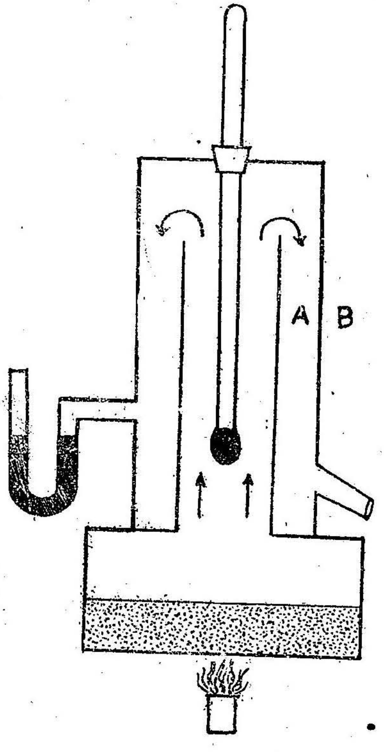
படம் 49. கீழ்த்திட்டவரையை நிர்ணயித்தல்

நிலைமானி தயாரிக்கப்படுகிறதோ, அவ் வெப்பநிலைக்குச் சற்று அதிகமான வெப்பநிலையில் குமிழை இருக்கச் செய்து குழாயின் மேல் பாகத்தைப் புனலுக்கு அடியே மூடிவிடவேண்டும்.

தூய்மையான, உப்பு கலப்பில்லாத, உருகுநிலையில் உள்ள பனிக்கட்டித் துண்டுகள் நிறைந்துள்ள புனலில், குமிழும், குமிழின் மேலேயுள்ள சிறிதளவு குழாயும் பனிக்கட்டித் துண்டுகளினுள் மூழ்கி இருக்குமாறு வெப்பநிலைமானியைச் செருகி வைத்தல் வேண்டும். பாதரசமட்டம் சிறிது சிறிதாகக் கீழிறங்கி பின்னர் நிலையாக நிற்கும். இம் மட்டத்திற்கு நேராகக் குழாயின்மேல்

அளவீடு ஒன்றைப் பொறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இவ்வளவீடே கீழ்த்திட்டவரையாகும்.

வெப்பநிலைமானியின் மேல்திட்டவரையைக் குறிக்க ஹிப்சாமீட்டர் (Hypsometer) என்ற கொதிகலன் உதவுகிறது. இதில் கொதிகலனின்மேல் உட்குழாய் *A* ஒன்றும், உட்குழாயைச் சுற்றி வெளிக்குழாய் *B* ஒன்றும் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அடியில் உள்ள பாத்திரத்தில் இருக்கும் கொதிநீரிலிருந்து நீராவி உட்குழாய் வழியே மேலேறி, வெளிக் குழாய்மூலம் கருவியைவிட்டு வெளியே



படம் 50. மேல்திட்டவரையை நிர்ணயித்தல்

செல்லும் கருவியின் உள்ளிருக்கும் காற்றின் அழுத்தத்தைக்காட்ட *U* குழாய் அழுத்தமானி ஒன்று பொறுத்தப்பட்டு இருக்கிறது. ஹிப்சா மீட்டரின் உச்சியிலுள்ள துவாரத்தை மூடுகின்ற தக்கையின் நடுவே உள்ள துளையில், வெப்பநிலைமானியின் குமிழும் தண்டின் பெரும் பகுதியும் நீராவியால் சூழப்படும் வண்ணம் வெப்பநிலைமானி செருகப்பட வேண்டும் உட்குழாயி

லுள்ள நீராவி வெளிக் குழாயிலுள்ள நீராவியால் சூழப்படுவதால் வெளிக் காற்றினால் உட்குழாயில் உள்ள நீராவி குளிர்ச்சியடையாது. வெப்பநிலைமானியில் பாதரசமட்டம் நிலையாக நின்றவுடன், அம் மட்டத்திற்கு நேராகத் தண்டின்மேல் தாற்காலிகமாக ஓர் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். ஹிப்சாமீட்டருடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள அழுத்தமானியின் உதவியால் நீராவியின் அழுத்தத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட்டு ஒரு சென்டிமீட்டர் வளிமண்டல அழுத்தக் குறைவினால் நீரின் கொதிநிலை $0{\cdot}37°C$ குறைவுபடும் என்பதையும் கருத்திற்கொண்டு, தேவையான திருத்தத்தைக் கணக்கீடு செய்தபின்னர், மேல் திட்டவரையை நிலையாகப் பொறித்துக் கொள்ளவேண்டும்.

இறுதியாகக் கீழ்த்திட்டவரைக்கும், மேல் திட்டவரைக்கும் இடையிலுள்ள பகுதியை 100 சமகூறுகளாக்கவேண்டும்.

வெப்பநிலைமானியில் பாதரசத்தைப் பயன்படுத்தக் காரணங்கள்:

1. நாம் எளியமுறையில் சுத்தமான பாதரசத்தைப் பெற முடியும்.

2. பாதரசம் கண்ணாடியில் ஒட்டாது.

3. இதன்மேல் ஒளி ஊடுருவாது. தவிர இது பளபளப்பாக இருப்பதால் இதனைக் கண்ணாடியின் வழியே நன்கு பார்க்க இயலும்.

4. இது ஒரு சிறந்த வெப்பக்கடத்தி. ஆகையால் அருகிலுள்ள பொருளிலிருந்து எளிதில் வெப்பத்தை ஏற்று விரிவடையும்.

5. பாதரசத்தின் வெப்ப ஏற்புத் திறன் மிகக் குறைவு. எனவே பொருளினின்றும் அதிக வெப்பத்தை இது எடுத்துக்கொள்வது இல்லை.

6. பாதரசத்தின் உறைநிலை (Freezing Point)—$38{\cdot}8°C$ இதன் கொதிநிலை $356{\cdot}4°C$. எனவே சாதாரண வெப்பநிலைகளை எளிதில் அளக்கலாம்.

7. இதன் பரும பெருக்கம் சீரானதாகவும், அளவிடப் போதுமானதாகவும் உள்ளது.

8. சாதாரண வெப்பநிலைகளில் பாதரசத்தின் ஆவி அழுத்தம் குறைவு.

வெப்பநிலைமானியில் பாதரசத்தைப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள குறைபாடுகள் :

1. பாதரசத்தின் உறைநிலை $-38{\cdot}8°C$. எனவே மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளை அளக்க இவ் வெப்பநிலைமானி பயன் படாது.

2. பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசை அதிக மதிப்புடையதாக இருப்பதாலும் இது கண்ணுடியில் ஒட்டாமல் இருப்பதாலும், இது தொடர்ச்சியாக நகராமல் விட்டு விட்டு நகரும்.

3. பாதரசம் அதிக அடர்த்தி உடையதாக இருப்பதால் கண்ணுடிக் குமிழில் திரிபை (Strain) உண்டாக்கும் இயல்பு வாய்ந்தது.

வாயு வெப்பநிலைமானிகள் (Gas Thermometers): உயர்ந்த வெப்பநிலையிலன்றி, குறைந்த வெப்பநிலையிலும் வாயுக்களின் விரிவு, பாதரசத்தைப் போலன்றி, சீரானதாக இருக்கிறது. வாயுவின் பரும பெருக்க எண் (Volume coefficient) பாதரசத்தின் பருமப் பெருக்க எண்ணைப்போல் இருபது மடங்கு பெரியனவாகும். ஓரளவு நிரந்தர வாயுக்கள் என்று கருதப்படுகின்ற ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், ஹீலியம் முதலானவை எவ்விடத்திலும் தூயதாக எளிதில் கிடைக்கும். எல்லா வாயுக்களின் பருமப் பெருக்க எண்களும், அழுத்தப் பெருக்க எண்களும் (Pressure coefficient) கிட்டத்தட்ட ஒரே மதிப்புடையனவாக இருத்தலால் வெவ்வேறு வாயுக்களினு லான வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகள் ஒன்றுபடுகின்றன.

வாயு வெப்பநிலைமானிகளையும் இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று பருமன் மாருவகை; மற்றொன்று அழுத்தம் மாருவகை. வாயுவின் வெப்பநிலை மாறுபாடெய்துங்காலை, அழுத்தம் மாருநிலை யில் உருவாகும் பருமப் பெருக்கத்தையோ அல்லது பருமன் மாரு நிலையில் ஏற்படும் அழுத்த விரிவையோ அளவிடுவதன் வாயிலாக வெப்பநிலைகளை அளக்குமாற்றைக் கருத்திற்கொண்டு இவ்வகை வெப்பநிலைமானிகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன.

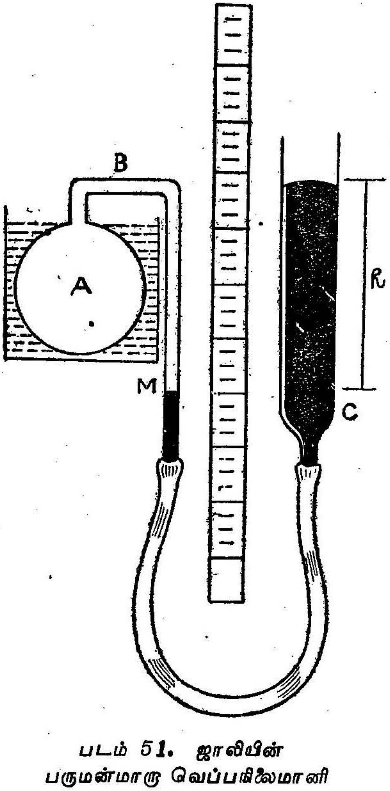
X. பருமன் மாருக் காற்று வெப்பநிலைமானி (Constant Volume Air Thermometer): குறிப்பிட்ட பருமனுள்ள குமிழில் அடைக்கப் பட்டுள்ள மாருத நிறையை உடைய காற்றின் வெப்பநிலை 0°, 100°, $t°$ என்று இருக்கும்பொழுது அக் காற்றின் அழுத்தங்கள் முறையே P_0, P_{100}, Pt எனக் கொள்வோம். வெப்பநிலை மாறுபாடு காற்றின் பருமனில் மாறுபாட்டினை விளைவிப்பதில்லை என்க. சம வெப்பநிலை உயர்வுகட்கு, காற்றின் அழுத்த மாறுபாடுகள் சமம் என்பதால்,

$$P_{100} - P_0 \propto 100$$
$$Pt - P_0 \propto t$$
$$\therefore \quad \frac{t}{100} = \frac{Pt - P_0}{P_{100} - P_0}$$

அல்லது,

$$t = \frac{Pt - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100$$

பருமன் மாருக் காற்று வெப்பநிலைமானி ஜாலி (Jolly) என்பவரால் உருவாக்கப்பட்டது. இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட சீரான நுண்குழாய் ஒரு குமிழுடன் (*A*) பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. நுண்குழாய் தடித்த இரப்பர் குழாய் வழியாக ஒரு பாதரச சேமக்கலத்துடன் (*C*) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குறிப்பிட்ட நிறையுடைய காற்றுக் குமிழிலும், நுண்குழாயிலும் அடைபடும் வண்ணம் தூய உலர்ந்த பாதரசம் சேமக்கலத்தினுள் ஊற்றப்படுகிறது. பாதரச மட்டங்களின் வேறுபாட்டினை நேரிடையாக அளவிடுதற்பொருட்டு ஒரு மீட்டர் அளவுகோல் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.



படம் 51. ஜாலியின் பருமன்மாரு வெப்பநிலைமானி

உருகுநிலையில் உள்ள தூய பனிக்கட்டித் துண்டுகள் நிறைந்த முகவையில் குமிழினை வைத்தபின், சேமக்கலத்தை உயர்த்தியோ, தாழ்த்தியோ பாதரசமட்டம் நுண்குழாயில் பொறிக்கப்பட்டு உள்ள நிலையான குறியிடத்தே (*M*) அமையுமாறு செய்தல் வேண்டும். பாதரசமட்டம் நிலையாக இருக்கும்பொழுது, இரு புயங்களிலும் உள்ள பாதரசமட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள உயரத்தை (h) அளவிடவேண்டும். வளிமண்டல அழுத்தம் H எனில், அடைபட்

டுள்ள காற்றின் அழுத்தம், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையில் $H \pm h$ ஆகும். பின்னர் குமிழினை நீரின் கொதிநிலையிலும், அளக்கப்பட வேண்டிய வெப்பநிலையிலும் இருக்குமாறு வைத்து அடைபட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தங்களைக் கண்டறியவேண்டும். பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையிலும், நீரின் கொதிநிலையிலும், பொருளின் வெப்பநிலையிலும் (t) அடைபட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தங்கள் முறையே P_0, P_{100}, Pt எனக் கொள்வோம்.

$$P_{100} = P_0 (1 + \propto \times 100)$$

$$\therefore \propto = \frac{P_{100} - P_0}{P_0 \times 100} \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$Pt = P_0 (1 + \propto t)$$

$$t = \frac{Pt - P_0}{P_0 \propto}$$

$\propto$ – ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

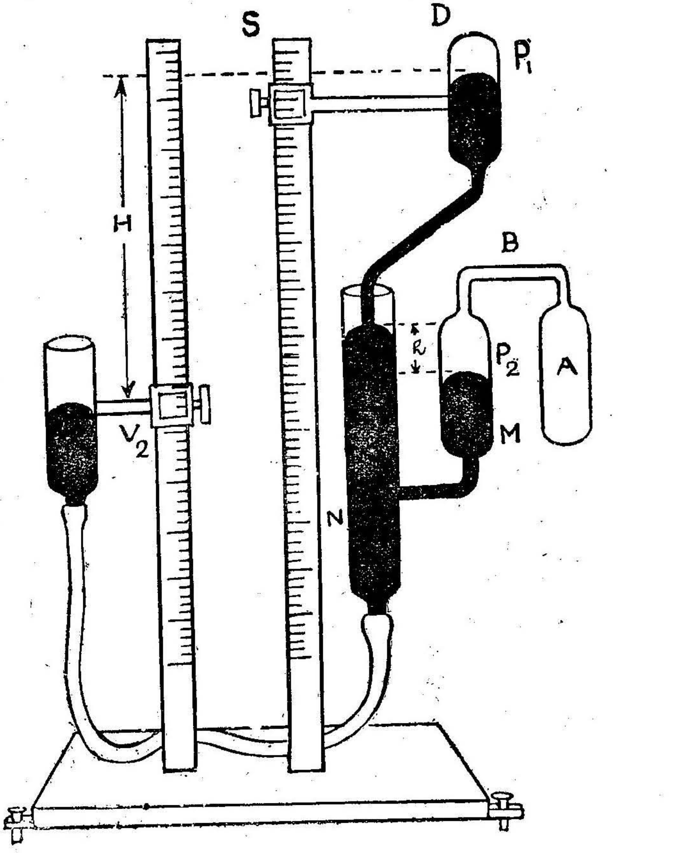
$$t = \frac{Pt - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100$$

எனவே பொருளின் வெப்பநிலை கணக்கிட்டறியப்படுகிறது.

வெப்பநிலை உயர்வுக்கு ஏற்ப, கண்ணாடிக் குமிழும் விரிவடைதல் உண்மையாதலால், அடைபட்டுள்ள காற்றின் பருமன் மாறுவதில்லை என்னும் நமது கருத்து தவறாகும். மேலும் அடைபட்டு உள்ள காற்று முழுவதும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருப்பதில்லை. நுண்குழாயில் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலை, குமிழினுள் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலை அடையும் மாறுதல்களைப் பெறுதல் இல்லை. மேலும் ஒவ்வொரு அளவீட்டையும் கணிக்குமுன், வளிமண்டல அழுத்தத்தைக் கண்டறியவேண்டும். ஏனெனில் அளவீடெடுக்கச் செலவிடப்படும் நேரம் எவ்வளவு சிறிதே எனினும் அக் குறுகிய நேரத்திற்குள்ளும் வளிமண்டல அழுத்தம் மாறுபாடெய்தலாம். எனவே வெப்பநிலைமானியுடன் ஓர் அழுத்தமானியையும் இணைக்கப் பெறுதல் இன்றியமையாதது.

பருமன் மாறாப் படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி (Constant Volume Standard Hydrogen Thermometer): ஹார்க்கர், சாப்புயி (Harker and Chappuis) என்பவர்களால் அமைக்கப்பட்ட பருமன்மாறாப் படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி, மேற்கூறப்பட்ட குறைகளெல்லாம் நீக்கப்பெற்று இருப்பதால், எல்லாவற்றிலும் சிறந்ததெனக் கருதப்படுகிறது. 110 செ.மீ. நீளமும், 3·6 செ.மீ.

விட்டமும், ஒரு லிட்டர் கொள்ளளவும் உடைய பிளாட்டினம் - ரேடியம் உலோகக் கலவையால் ஆன நீண்ட குமிழ் A நுண்குழாய் B ஒன்றினால் MN என்ற பாதரச அழுத்தமானியுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. இவ்வழுத்தமானி, ஒரு பாதரச சேமக்கலத்துடன் ஓர் இரப்பர் குழாய் வாயிலாக இணைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. அழுத்த மானியின் N என்ற புயத்திலுள்ள பாதரசத்தில் பாரமானிக் குழாய்



படம் 52. ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி

Dவைக்கப்பட்டுள்ளது. பாரமானிக் குழாயின் மேற்பாகம் வளைக்கப் பட்டு M என்ற புயத்திற்கு நேர் மேலே இருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டு இருக்கிறது. M-ன் மேல் முனையிலும், Dயின் மேல் முனையிலும் முறையே P_1, P_2 என்ற தந்த குறிமுட்கள் உள்ளன. சேமக்கலத்தை உயர்த்தியோ (அல்லது) தாழ்த்தியோ அழுத்தமானியில் M என்ற

புயத்தில் பாதரசமட்டம் குறிமுள் P_1-ன் நுனியைத் தொட்டுக் கொண்டு இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். எனவே குமிழில் அடங்கியுள்ள வாயுவின் பருமன் மாருத தன்மையதாம். P_2-ன் முனையுடன் பொருந்துமாறு சுழிமுனையைக் கொண்ட ஓர் அளவுகோல் D-க்கு அருகில் வைக்கப்பட்டுள்ளது.

நீண்ட குமிழ் Aயைப் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையான $0°C$யில் இருக்குமாறு குமிழைச் சுற்றி தூய உலர்ந்த பனிக்கட்டித் துண்டுகள் வைக்கப்படவேண்டும். சேமக்கலத்தை உயர்த்தியோ (அல்லது) தாழ்த்தியோ அழுத்தமானியின் M என்ற புயத்தில் பாதரசமட்டம் P_1 என்ற குறிமுள்ளின் முனையைத் தொட்டுக்கொண்டு இருக்குமாறு செய்தல் வேண்டும். பாரமானிக் குழாயைச் சரி செய்து அதிலுள்ள பாதரசமட்டம் P_2 என்ற குறிமுள்ளின் நுனியுடன் ஒன்றுமாறு செய்தல்வேண்டும். இவ்விரு குறிமுட்களுக்கும் இடையேயுள்ள உயரம், $0°C$ வெப்பநிலையில் அடைபட்ட வாயுவின் அழுத்தத்தை நேரிடையாகக் கொடுக்கும். குமிழை நீரின் கொதிநிலையிலும், எவ் வெப்ப நிலையை (t) அறிதல் வேண்டுமோ அவ் வெப்பநிலையிலும் இருக்குமாறு செய்து அடைபட்ட வாயுவின் அழுத்தத்தை அவ் வெப்பநிலைகளில் கண்டறிய வேண்டும்.

பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை, நீரின் கொதிநிலை, அளக்கப்பட வேண்டிய வெப்பநிலை (t) முதலியவற்றில், வாயுவின் அழுத்தங்கள் முறையே P_0, P_{100}, tP எனில்,

$$t = \frac{Pt - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100$$

குமிழைப் பல்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருக்குமாறு செய்து ஒவ்வொரு வெப்பநிலையிலும் அடைபட்ட வாயுவின் அழுத்தத்தை அளவிட்டறிய வேண்டும். X அச்சில் வெப்பநிலையையும், Y அச்சில் அழுத்தத்தையும் கொண்டு வரைபடம் ஒன்று வரைதலின் மூலமாகப் பொருளின் வெப்பநிலையை நேரிடையாக அளக்க முடியும்.

மாருப் பருமன் ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு—$200°C$ வெப்பநிலை முதல் $500°C$ வெப்பநிலைவரை அளவிட இயலும். $500°C$ வெப்பநிலைக்கு மேல் ஹைட்ரஜன் பிளாட்டினத்தில் விரவிப் பரவிவிடுமாதலால் அதற்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளை அளக்க ஹைட்ரஜனுக்குப் பதிலாக நைட்ரஜனைப் பயன்படுத்தவேண்டும். —$5°A$ வரையுள்ள குறைந்த வெப்பநிலைகளை அளவிட ஹீலியம் வாயுவைக் குமிழினுள் அடைத்தல்வேண்டும்.

வாயு வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்துவதில் அதிக சிரமங்கள் உள்ளன. ஆகையால் அவைகளை மற்ற வெப்ப நிலைமானிகளின் அளவீடுகளைப் படித்தரமாக்க மட்டும் பயன் படுத்துகிறோம்.

Important.

பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானி (Platinum Resistance Thermometer): $0°C$ வெப்பநிலையில் இருந்து $500°C$ வெப்பநிலை வரை பல்வேறு வெப்பநிலைகளில் பிளாட்டின மின்கடத்தியின் மின்தடைகளைக் காலண்டர், கிரிப்பித் (Callendar, Griffith) என்பவர்கள் பரிசோதனைகள் மூலம் தெளிவாகக் கண்டறிந்தனர். வெப்பநிலைகளுக்கும், அவ் வெப்பநிலைகளில் மின்தடைகளுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பைக் காலண்டர் என்பவர்

$$Rt = R_0 (1 + \propto t + \beta t^2)$$

என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் விளக்கிக் காட்டினர். இச் சமன் பாட்டில் R_0, Rt என்பன $0°C$, $t°C$ வெப்பநிலைகளில் பிளாட்டின மின்கடத்தியின் மின்தடைகளாகும். $\propto$, β என்பன மாறிலிகள்.

இச் சமன்பாட்டைத் தீர்வு செய்யாமலேயே வெப்பநிலையைக் (t) கணக்கிடும் முறையைக் காலண்டர் காண்பித்தார். $0°C$ வெப்ப நிலையில் பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடையை R_0 எனவும், $100°C$ வெப்பநிலையில் மின்தடை R_{100} எனவும், $\propto$ என்பது மின்தடை வெப்பநிலை எண் (Temperature coefficient) எனவும் கொள்வோம். வெப்பநிலைகளில் சமமாக மாறுதல்கள் ஏற்பட்டால், அவை மின்தடையிலும் சமமான மாறுதல்களைத் தோற்றுவிக்கும் என்பதால்,

$$R_{100} = R_0 (1 + \propto \cdot 100) = R_0 + R_0 \propto 100$$

$$\therefore \propto = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100} \quad \dots (1)$$

எனவே பிளாட்டினக் கம்பிச் சுருளுக்கு அதன் மின்தடை வெப்பநிலை எண் கணக்கிடப்பெறுகிறது.

பிளாட்டின வெப்பநிலை (Platinum Temperature) tP எனுங் கால், அக் கம்பியின் மின்தடை Rt எனில்,

$$Rt = R_0 (1 + \propto tP) = R_0 + R_0 \propto tP$$

$$\therefore tP = \frac{Rt - R_0}{R_0 \propto}$$

முதல் சமன்பாட்டில் இருந்து $\propto$வின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய

$$tP = \frac{Rt - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100$$

எனவே மின்தடைகள் R_0, R_{100}, Rt ஆகியவை அளக்கப் பெற்ருல் பிளாட்டினக் கம்பிச் சுருளின் வெப்பநிலை tP, (அல்லது) எப் பொருளின் வெப்பநிலையை அளக்கவேண்டுமோ அவ் வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுதல் எளிது. பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானியைக் கொண்டும், வாயு வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டும், ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை அளவிடுவோமே யானுல் இவ்விரு அளவீடுகளும் ஒன்ருகவே இரா. பிளாட்டின வெப்பநிலைகட்கும், அவ் வெப்பநிலைகட்கான வாயு வெப்பநிலை மானியின் அளவீடுகட்டும் ஒப்பீடு செய்த பின்னர், ஒரு குறிப் பிட்ட வெப்பநிலை வாயு வெப்பநிலைமானியால் t எனவும், பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியால் tP எனவும் அளக்கப்பெற்ருல், இவ்விரு அளவீடுகளுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பைக் காலண்டர்,

$$t - tP - \delta\left[\left(\frac{t}{100}\right)^2 - \frac{t}{100}\right]$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறித்தார். இதில் δ என்பது கம்பியின் உலோகத்தைப் பொருத்த மாறிலியாகும்.

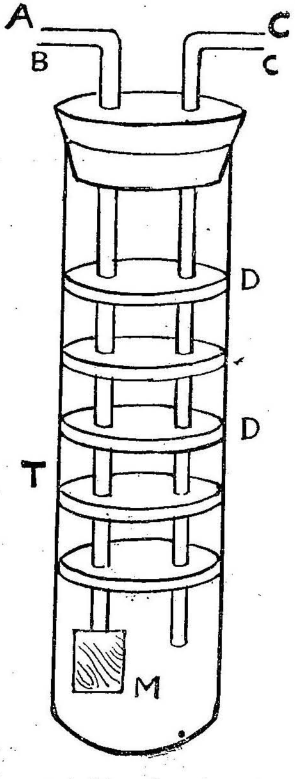
குறிப்பிட்ட பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானிக்கு δவின் மதிப்பைக் கண்டறிய இவ் வெப்பநிலையைக் கந்தகத்தின் கொதி நிலையைக் கொண்டு கணக்கிடவேண்டும். அது tP ஆகும். கந்த கத்தின் கொதிநிலை (t)யைச் சாதாரணமாக $444{\cdot}53°C$ என்று நாமறிவோம். இவ்விரு அளவீடுகளையும் சமன்பாட்டில் பொருத்த δவின் மதிப்புக் கணக்கிடப்படுகிறது.

தூய்மையான பிளாட்டினக் கம்பியை இரட்டையாக மடித்த வாறு ஒரு மைக்கா (M) துண்டின்மேல் சுற்றி எபொனைட் மூடியால் மூடப்பட்டுள்ள பீங்கான் குழாயின் (T) அடிபாகத்தில் வைக்கப் பட்டுள்ளது. பிளாட்டினக் கம்பியின் முனைகள் இரு பிளாட்டினத் தண்டுகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத் தண்டுகள் மைக்கா தகடுகளின், (DD) வழியே செலுத்தப்பட்டு, எபொனைட் மூடியில் உள்ள இரு திருகுகளுடன் (AB) இணைக்கப்பட்டு இருக்கின்றன.

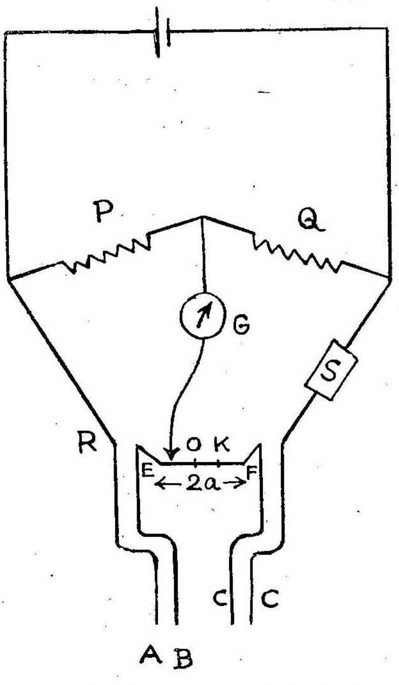
இணைப்புத் தண்டுகளின் மின்தடையை ஈடுசெய்வதற்காக அவைகளை ஒத்ததும், அடியில் ஒன்று சேர்க்கப்பட்டதுமான வேறு இரு பிளாட்டினத் தண்டுகள், இணைப்புத் தகடுகளின் பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டு, மைக்காத் தண்டுகளின் வழியே, எபொனைட்

மூடியில் உள்ள திருகுகளுடன் (CC) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. குழாய் வெற்றிடமாக்கப்படுவதோடன்றி ஆக்ஸிகரணம் ஏற்படாதிருக்கக் குழாயின் வாய் காற்றுப் புகாவண்ணம் நன்கு மூடப்பட்டுள்ளது.

காலண்டர் - கிரிஃபித்ஸ் சமனச்சுற்று மூலம் பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடையை அளவிடலாம். படத்தில் P, Q என்பவை சமமான மின்தடைகளாகும். S என்பது ஒரு மின்தடைப் பெட்டி. பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடையை 4 தசம இடங்களுக்குத்



படம் 53. பிளாட்டினம் மின்தடை வெப்பநிலைமானி



படம் 54. காலண்டர் கிரிஃபித்ஸ் சமனச்சுற்று

துல்லியமாகக் கண்டறியும் பொருட்டு, $2a$ சென்டிமீட்டர் நீளமும், ஒரு சென்டிமீட்டருக்கு r ஓம் மின்தடையுள்ள உலோகக் கம்பி ஒன்று. E, F என்ற இரு புள்ளிகளிடையே நீட்டி வைக்கப்பட்டு உள்ளது. EF-ன் மேல் நகரும் தொடுகோல், ஒரு கால்வனுமீட்டருடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இணைப்புத் தண்டுகள் சமனச்

சுற்றின் R என்ற புயத்திலும் ஈடுசெய்யும் தண்டுகளும் மின் தடைப் பெட்டியும் தொடர் இணைப்பில் S என்ற புயத்திலும் சேர்க்கப் படுகின்றன. தேவையான அளவு மின்தடையை S-ல் எடுத்துக் கொண்டு, தொடுகோலை EF-ன் மேல் நகர்த்திக் கால்வனுமீட்டரில் குறிமுள் விலகலடையாது செய்தல்வேண்டும்.

EF கம்பியின் மையப்புள்ளி O என்க. தொடுகோல் EF-ன்மேல் K என்ற புள்ளியைத் தொடும்பொழுது, கால்வனுமீட்டரில் குறிமுள் அசைவதில்லை என்போம். பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடை R எனில்,

$$R + EK \cdot r = S + KF \cdot r$$

$$R = S + (KF - EK)\, r$$

$$= S - 2\, OK \,.\, r$$

படத்தில் புள்ளி K, மையப்புள்ளி O-க்கு வலப்புறம் உள்ளது. அவ்வாறின்றி இடப்புறம் இருந்தால்,

$$KF - EK = -2 \cdot OK$$

$$\therefore \quad R = S + 2 \cdot OK \cdot r$$

பொதுவாக, $R = S \pm 2 \cdot OK \cdot r$

r-ன் மதிப்பை 4 தசம இடங்களுக்குச் சுத்தமாகக் கணக்கிட முடியுமாதலால் R-ன் மதிப்பு மிகத் துல்லியமாக அறியப் படுகிறது. பனிநிலை, நீரின் கொதிநிலை, அறியப்படவேண்டிய வெப்பநிலை (t) முதலியவற்றில் பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடைகள் முறையே R_0, R_{100}, Rt என அளவிடுவோமேயாயின், மேற்கூறப் பட்ட சமன்பாடுமூலம் பொருளின் வெப்பநிலையை அளவிடலாம்.

நற்பண்புகள் : 1. பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலை மானியை $-200°C$ வெப்பநிலை முதல் $1200°C$ வெப்பநிலைவரை அதிக வெப்பநிலைப் பகுதிக்குப் பயன்படுத்தலாம்.

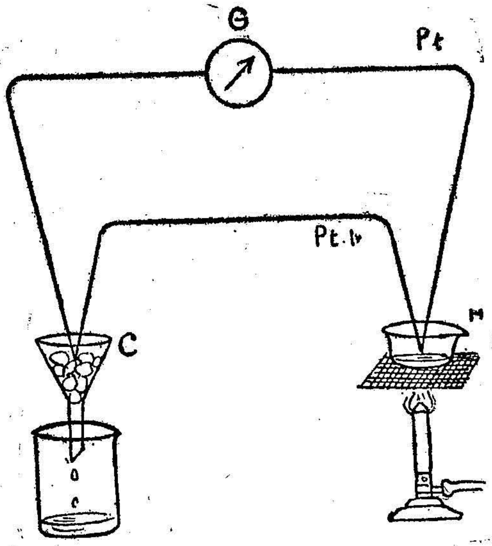
(2) இவ் வெப்பநிலைமானியினுல் கண்டறியப்படும் வெப்பநிலை அளவீடு, படித்தர வாயு வெப்பநிலைமானியின் அளவீட்டோடு கிட்டதட்ட ஒத்து உள்ளது.

(3) வெப்பநிலை மாறுதல் $\cdot 001°C$ அளவு சிறிதேயாயினும், அச் சிறு மாறுதலையும் அளவிட இயலும்.

(4) இக் கருவி நடைமுறையில் மிக எளிதாகப் பயன்படுத்த முடிகிறது.

ஆயினும் பீங்கான் குழாயின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் அதிக மதிப்புடையதாலும், வெப்பங்கடத்தும் திறன் மிகவும் குறைவாதலாலும் எப் பொருளின் வெப்பநிலையை அளக்கவேண்டுமோ, அவ் வெப்பநிலையைப் பிளாட்டினக் கம்பிச்சுருள் அடைவதற்கு அதிக நேரமாகின்றது. எனவே விரைவில் மாறுபடும் வெப்ப நிலைகளைக் கண்டறிய இவ் வெப்பநிலைமானி பயன்படாது.

வெப்பமின் வெப்பநிலைமானி (Thermo Electric Thermometer): வெவ்வேறு உலோகங்களாலான இரு கம்பிகளைக் கொண்டு ஒரு மின்சுற்றை உருவாக்கி அதன் இரு சந்திகளையும் வேறுபட்ட வெப்பநிலைகளில் இருக்குமாறு வைத்தோமேயானால் அம் மின்

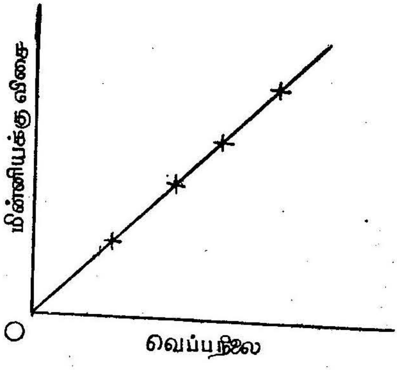


படம் 55. வெப்பமின் வெப்பநிலைமானி

சுற்றில் மின்னியக்கு விசை உருவாகிறது என்றும், அதனால் சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது என்றும் சீபெக் (Seebeck) என்பவர் 1821ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடித்தார். இவ் வுண்மையைச் சீபெக் விளைவு என்றழைக்கிறோம். இந்த அமைப்புக்கு வெப்பமின் இரட்டை (Thermocouple) என்று பெயர். வெப்பமின் இரட்டையில் ஏற்படும் மின்னியக்கு விசையை ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை அளப்பதற்குப் பயன்படுத்தலாம். உதாரணமாக வெப்பமின் இரட்டையின் ஒரு சந்தி உருகுகின்ற பனிக்கட்டியின் வெப்ப நிலையிலும், அடுத்த சந்தியை உயர் வெப்பநிலை (அல்லது) நீரின் கொதிநிலையிலும் வைக்கப்பெறின், வெப்பமின் இரட்டையில்

உருவாகின்ற மின்னியக்குவிசை, வெப்பமின் இரட்டையை உண்டாக்கப் பயன்படுத்தப்பெற்ற உலோகங்களையும், சந்திகளின் வெப்பநிலைகளையுமே பொருத்தது. மேலும் ஒரு சந்தியைப் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையிலேயே மாருது இருக்குமாறு வைத்து அடுத்த சந்தியின் வெப்பநிலையை மாறுபடுத்திஞேமேயாஞல் உருவாகின்ற மின்னியக்குவிசை இரண்டாவது சந்தியின் வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது என்றும் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. சுடுசந்தியின் வெப்பநிலையோடு மின்னியக்கு விசைக்கு உள்ள தொடர்பைப் படத்தில் காட்டியவண்ணம், வரைபடம் வாயிலாக விளக்கப்பெறும். இவ் வரைபடம் வாயிலாக எந்த மின்னியக்கு விசைக்கும் உரிய வெப்பநிலையைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

வெப்பநிலையை மிகத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்கவேண்டுமாயின் முதலில் மின்னியக்கு விசையை அளத்தல்வேண்டும். படித்தர



படம் 56. வெப்பநிலை - மின்னியக்குவிசை வரைபடம்

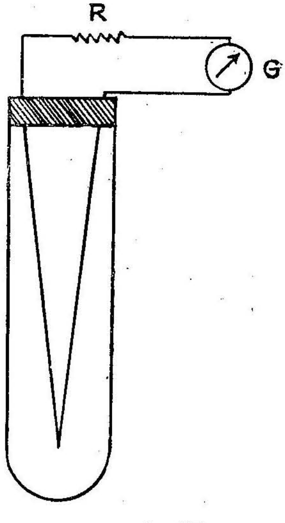
ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியின் உதவியால் அளக்கப்பெற்ற வெப்பநிலைகட்கும், மின்னியக்குவிசை மாறுபாட்டிற்கும் உள்ள தொடர்பை,

$$E = A + Bt + Ct^2$$

என்ற சமன்பாட்டிஞல் குறிக்கலாம். சமன்பாட்டில் A, B, C என்பன குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை நெடுக்கத்திற்கு மாறிலிகளாகும். அவற்றைக் கணக்கீடு செய்தல் இயலும். எவ் வெப்பநிலையை அறிதல் வேண்டுமோ, அவ் வெப்பநிலையில் சுடுசந்தியை இருக்கச் செய்து, சந்திகளின் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் உருவாகும் மின்னியக்கு

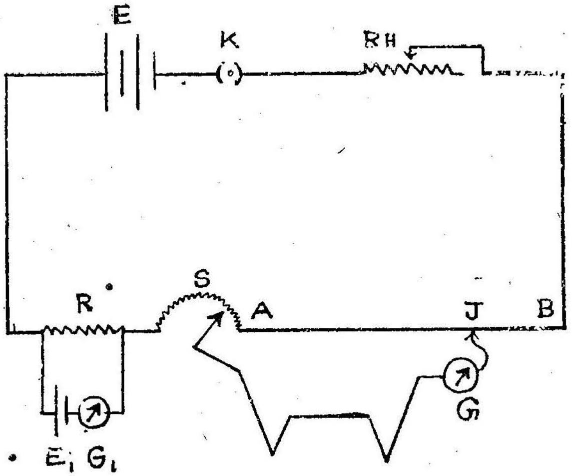
விசையை அளவிட்டு அதைச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால், வெப்பநிலை துல்லியமாக அளக்கப்பெறும்.

மின்னியக்கு விசையை அளக்க ஒரு மில்லிவோல்ட் மீட்டரைப் பயன்படுத்தலாம். மில்லி வோல்ட் மீட்டரின் விலகல், நேரிடையாகவே வெப்பநிலையைக் காட்டுமாறு அமைத்துக்கொள்ள இயலும். மின்னியக்கு விசைகளைத் துல்லியமாக அளக்க மில்லிவோல்ட் மீட்டருக்குப் பதிலாக, ஒரு மின்னழுத்த மானியைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.



படம் 57.

A, *B* என்ற மின்னழுத்தமானியை *R*, *S* என்ற மின்தடைகள், *R H* என்ற மின்தடை மாற்றி, மின்கல அடுக்கு *E* ஆகியவற்றுடன் தொடரிணைப்பு முறையில் படத்தில் காட்டியவண்ணம் இணைக்கவேண்டும். படித்தரக் கேட்மிய மின்கலம் E_1 ஒன்றைக் கால்வனா மீட்டர் G_1 மூலம் *R* என்ற மின்தடையுடன் பக்க இணைப்பு முறையில் இணைக்கவேண்டும். மின்தடை மாற்றியை வேண்டியவாறு



படம் 58.

மாற்றிக் கால்வனுமீட்டர் G-இல் குறிமுள் அசையாவண்ணம் செய்தால், மின்னழுத்தமானியில் செல்லும் மின்னோட்டத்தின் அளவையும், அதன் ஒவ்வொரு செ.மீ. நீளத்தில் ஏற்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினையும் கணக்கிடலாம்.

இப்பொழுது வெப்பமின் இரட்டையின் ஒரு முனையை A-யுடனும், அடுத்த முனையை G எனும் கால்வனுமீட்டர் வழியே J என்ற தொடுகோலுடன் இணைக்கவேண்டும். இரட்டையின் ஒரு சந்தியைப் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையிலும், மறு சந்தியை ஓர் உயர் வெப்பநிலையிலும் வைக்கப்படும்பொழுது வெப்பமின் இரட்டையில் உருவாகும் மின்னியக்கு விசையும், $A\ J$ யில் ஏற்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடும் எதிரெதிர் திசைகளில் இருக்க வேண்டும். J-ன் நிலையைத் தக்கவாறு சரிசெய்து G-யில் விலகல் இல்லாதிருக்குமாறு செய்யவேண்டும். $A\ J$-யின் நீளத்தை அளந்து அதில் நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக் கிட்டால், அது வெப்பமின் இரட்டையின் மின்னியக்கு விசையைக் கொடுக்கும். இம் மின்னியக்குவிசை உண்டாகக் காரணமான சுடுசந்தியின் வெப்பநிலையை வரைபடம் வரயிலாக நேரிடையாக எளிதில் அறியலாம்.

அளக்கப்படவேண்டிய வெப்பநிலை நெடுக்கத்திற்குத் தக்க வாறு வெவ்வேறு வெப்பமின் இரட்டைகளைப் பயன்படுத்துவது மிகவும் இன்றியமையாததாகும். தாமிரம்-கான்ஸ்டன்டன் இரட்டை $20°\ A$ வெப்பநிலை முதல் $573°\ A$ வரைபட்ட வெப்பநிலைகளை அளக்கப் பயன்படும். $300°C$ வெப்பநிலைக்கு மேல் ஆக்ஸி கரணம் நிகழ்வதன் விளைவாக இவ் விரட்டைப் பயனற்றதாகி விடுகிறது. பிளாட்டினம்-பிளாட்டின ரேடியம் இரட்டையை $1600°C$ வெப்பநிலைவரை அளக்க சாலவும் சிறந்தது. $20°A$ வெப்ப நிலைக்குக் குறைவான வெப்பநிலைகளைக் கண்டறிய தங்கம் - பிளாட்டினம் வெப்பமின் இரட்டையை உபயோகப்படுத்தலாம்.

வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியின் நற்பண்புகள்: (1) இதன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் மிகக் குறைவானதாகையால், விரைவில் மாறு படும் வெப்பநிலைகளைக் கணக்கிட இவ் வெப்பநிலைமானியே ஏற்றது.

(2) $200°C$ முதல் $1600°C$ வரையான நீண்ட வெப்பநிலை நெடுக்கத்திற்குப் பயன்படக்கூடியது.

(3) பொருளின் வெப்பநிலைகளை நேரிடையாகக் கொடுக்கும் படி இவ் வெப்பநிலைமானியை அமைத்தல் இயலும்.

*வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியின் குறைபாடுகள்: (1) மின்னியக்கு விசையை வெப்பநிலையுடன் தொடர்புபடுத்தக்கூடிய சமன்பாட்டிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்புகள், வெவ்வேறு வெப்பநிலை நெடுக்கங்களில் வெவ்வேருக அமையும்.

(2) பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியின் அளவீட்டுத் துல்லியத்தைவிட (Accuracy) இதன் அளவீட்டுத் துல்லியம் குறைந்தது.

மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைகளை அளக்க, கதிர்வீச்சுப் பைரோமீட்டர்கள் (Radiation Pyrometers) என்ற கருவிகள் பயன்படுகின்றன. இவைகளைப் பற்றி வெப்பக் கதிர்வீச்சினைப் பற்றிய பகுதியில் காண்போம்.

2. திடப்பொருள்களின் பெருக்கம்

(Expansion of Solids)

வெப்பம் எல்லாப் பொருள்களையும் விரிவடையச் செய்கிறது என்பது நாம் அன்றாட வாழ்க்கையில் காண்பதொரு உண்மை யாகும். திடப்பொருள்களைவிட திரவப் பொருள்கள் அதிக அளவில் பெருக்கமடைகின்றன. வாயுப் பொருள்களின் பெருக்கம், திரவங்களின் பெருக்கத்தைவிட அதிகம். வெப்பநிலை உயரும் பொழுது சில பொருள்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே சீராகப் பெருக்கமடைகின்றன. அவற்றைத் திசையொப்புப் பண்புள்ள (Isotropic) பொருட்கள் என்று அழைக்கிறோம். கன சதுரப் படிகங்கள் (Cubic Crystals), உலோகங்கள் ஆகியவை திசை யொப்புப் பண்புள்ளவை. வெப்பநிலை உயரும்பொழுது, வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு விதத்தில் பெருக்கமடையும் பொருள் களைத் திசையொவ்வாப் பண்புள்ள (Anisotropic) பொருட்கள் என்கிறோம். இப் பகுதியில் திசையொப்புப் பண்புள்ள உலோகங் களின் பெருக்கத்தைப் பற்றிக் காண்போம்.

திடப்பொருள்கள் சூடேற்றப்படும்பொழுது, அவைகளின் நீளம், அகலம், உயரம் ஆகியவை பெருக்கமடைவதால், அப் பொருள்களின் நீளம் மட்டுமன்றி, பரப்பும், பருமனும் பெருக்க முறுகின்றன. இப் பெருக்கங்கள் முறையே நீட்சிப் பெருக்கம் (Linear Expansion), பரப்புப் பெருக்கம் (Areal-Expansion), பருமப் பெருக்கம் (Volume Expansion) என்று வழங்கப்பெறு கின்றன. குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை உயர்விற்கு, வெவ்வேறு திடப்பொருள்கள் வெவ்வேறு பெருக்கங்களை உடையன.

ஓரலகு நீளமுள்ள ஒரு திடப்பொருளின் வெப்பநிலை 1° சென்டி கிரேடு உயர்வடையும்பொழுது அதன் நீளத்தில் உண்டாகும்

பெருக்கம், அப் பொருளின் நீட்சிப்பெருக்க எண் அல்லது நீள் விரிவு எண் (Coefficient of Linear Expansion) எனப்படும். இதையே கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளின் வெப்பநிலை 1° சென்டிகிரேடு உயர்வடையும்பொழுது அதன் நீளத்தில் ஏற்படும் விரிவிற்கும், அப் பொருளின் ஆரம்ப நீளத்திற்கும் உள்ள தகவு என்றும் கூறுதல் பொருந்தும்.

ஓர் உலோகத்தண்டின் ஆரம்ப வெப்பநிலை, இறுதி வெப்ப நிலை ஆகியவை முறையே $t_1°$, $t_2°$ என்று இருக்கும்போது அத் தண்டின் நீளங்கள் முறையே l_1, l_2 எனக் கொள்வோமேயானால் வரையறைப்படி பொருளின் நீட்சிப்பெருக்க எண் α என்பது

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 (t_2 - t_1)}$$

அல்லது $\alpha l_2 \; (n_2 - t_1) = l_1 - l_2$

எனவே $l_2 = l_1 + \alpha \, l_1 \; (t_2 - t_1)$

$$l_2 = l_1 \; [\, 1 + \alpha \, (t_2 = t_1)]$$

உலோகத்தண்டின் வெப்பநிலை $0°C$ எனும்பொழுது அதன் நீளம் lo என்றும், அத் தண்டின் வெப்பநிலை $t°C$-க்கு உயரும் பொழுது அதன் நீளம் l என மாறுவதாகவும் கொண்டால்,

$$l = lo \; (1 + \propto t)$$

ஒரு திடப்பொருளின் வெப்பநிலை 1° சென்டிகிரேடு உயர்வடையும்பொழுது, அப் பொருளின் பரப்பில் ஏற்படும் பெருக்கத்திற்கும் அதன் ஆரம்பப் பெருக்கத்திற்கும் உள்ள தகவு அப் பொருளின் பரப்புப்பெருக்க எண் (Coefficient of Areal Expansion) என்று கூறப்படும்.

ஒரு திடப்பொருளின் வெப்பநிலை $t_1°\ C$-யிலிருந்து $t_2°C$ ஆக மாறும்பொழுது அதன் பரப்பு A_1-லிருந்து A_2—யாக மாறுபடுவதாகக் கொண்டால், அப் பொருளின் பரப்புப் பெருக்க எண் β என்பது அறிமுறைப்படி.

$$\beta = \frac{A_2 - A_1}{A_1 \; (t_2 - t_1)}$$

ஏனவே $A_2 = A_1 \, [\, 1 + \beta \; (t_2 - t_1) \,]$

இதுபோலவே, ஒரு பொருளின் பருமப்பெருக்க எண் (Coefficient of Cubical Expansion) என்பது, அப் பொருளின்

வெப்பநிலை 1° சென்டிகிரேடு உயர்வடையும்பொழுது அதன் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கத்திற்கும் அதன் ஆரம்பப் பருமனுக்கும் உள்ள தகவு ஆகும். ஒரு திடப்பொருளின் வெப்பநிலை $t_1°$ C-யிலிருந்து $t_2°$ C-யாக உயரும்போது அப் பொருளின் பருமன் V_1 என்னும் மதிப்பிலிருந்து V_2 ஆக உயருமேயாயின் அந்தப் பொருளின் பருமப்பெருக்க எண் γ என்பது,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1\,(t_2 - t_1)}$$

$$V_2 = [\,1 + \gamma\,(t_2 - t_1)\,]$$

மூன்று பெருக்க எண்களுக்கும் (α, β, γ) இடையேயுள்ள தொடர்பு: ஓரலகு பக்கமுள்ள சதுர வடித்தகட்டின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்துவதாகக் கொள்வோம். அத் தகட்டின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α எனில், ஒவ்வொரு பக்கமும் α அளவு விரிவடையும். எனவே,

தகட்டின் ஆரம்பப் பரப்பு $= 1$ ச.செ.மீ.

தகட்டின் இறுதிப் பரப்பு $= (1+\alpha)\,(1+\alpha)$

$= 1 + \alpha + \alpha^3$

$= 1 + 2\alpha$

தகட்டின் நீட்சிப்பெருக்க எண்ணின் (α) மதிப்பு மிகச் சிறியதாகையால் அதன் மடிகள் விட்டுவிடப்படலாம். தகட்டின் பருமப்பெருக்க எண் β எனில்,

பரப்பு

$$\beta = \frac{A_2 - A_1}{A_1\,(t_2 - t_1)}$$

$$\beta = \frac{1 + 2\alpha - 1}{1 \times 1} = 2\alpha$$

எனவே ஒரு பொருளின் பரப்புப் பெருக்க எண், அப் பொருளின் நீட்சிப்பெருக்க எண்ணைப்போல் இருமடங்கு மதிப்பு உடையது.

இதுபோலவே ஓரலகு பக்கமுள்ள கன சதுரத் தகட்டின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்துவதாகக் கொண்டால்,

தகட்டின் இறுதிப் பருமன் $= (1 + \alpha)\,(1 + \alpha)\,(1 + \alpha)$

$= (1 + 3\,\alpha)$

α_2, α_3 முதலியவை α-ன் மதிப்புச் சிறியதாகையால் புறக்கணிக்கப்படுகின்றன.

தகட்டின் பருமப்பெருக்க எண் γ எனில்,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1 (t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{1 + 3\alpha - 1}{1 \times 1} = 3\alpha$$

ஆகையால் ஒரு பொருளின் பருமப்பெருக்கம் அப் பொருளின் நீட்சிப் பெருக்கத்தைப் போல மும்மடங்கு பெரியது.

எனவே $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 2 : 3$

பொருளின் அடர்த்தியும், வெப்பநிலையும்: ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை உயர்வடையும் பொழுது அப் பொருளின் பருமன் பெருக்கமடைகிறது. ஆனால், அப் பொருளின் நிறை மாறுபாடு அடையாது. எனவே பொருளின் அடர்த்திக் குறைகிறது என்பது தெளிவு.

குறிப்பிட்ட நிறையுடைய பொருளின் வெப்பநிலை $0°C$ என்னும் பொழுது அதன் பெருமன் v_0 என்க. வெப்பநிலை $t°C$ அளவு உயரும்பொழுது, அதன் பருமன் v ஆக மாறுவதாகக் கொள்வோம். பொருளின் நிறை M எனில்,

$$M - v_0 d_0 = v . d$$

d_0, d என்பவை $0°C$ வெப்பநிலையிலும், $t°C$ வெப்பநிலையிலும், அப் பொருளின் அடர்த்திகளாகும்.

$$vd = v_0 d_0$$

$$\therefore \frac{v_0}{v} = \frac{d}{d_0}$$

பொருளின் பருமப் பெருக்க எண் γ எனக் கொள்வோம் என்றால்

$$v = v_0 (1 + \gamma t)$$

$$\therefore \frac{d}{d_0} = \frac{v_0}{v_0 (1 + \gamma t)} = \frac{1}{1 + \gamma t}$$

(அல்லது) $d = d_0 (1 - \gamma t)$

இச் சமன்பாடு திரவங்களுக்கும், வாயுக்களுக்கும் பொருந்தும்.

உள்ளீடற்ற கலங்களின் பெருக்கம்: உள்ளீடற்ற கன சதுரக் கொள்கலம் ஒன்றின் வெப்பநிலை $0°C$ என்னும்பொழுது அதன் நீள, அகல, உயரங்கள் முறையே l_0, b_0, h_0 என்போம். கலத்தின் வெப்பநிலை $t°C$ ஆக உயர்த்தப்படும்பொழுது அதன் பரிமாணங்கள் முறையே l, b, h என மாறுபடுவதாகக் கொள்வோம்.

$$\therefore \quad l = l_0 (1 + \alpha t)$$
$$b = b_0 (1 + \alpha t)$$
$$h = h_0 (1 + \alpha t)$$
$$lbh = l_0\, b_0\, h_0 (1 + \alpha t)^3$$

அல்லது $V = V_0 (1 + 3\alpha t)$

α-வின் மதிப்புச் சிறியதாகையால் $\alpha^3 t^3$, $3\alpha^2 t^2$ முதலியவைப் புறக் கணிக்கப்படுகின்றன.

கலத்தின் பருமப்பெருக்க எண் γ எனில்,

$$V = V_0 (1 + \gamma t)$$
$$\therefore \gamma = 3\alpha$$

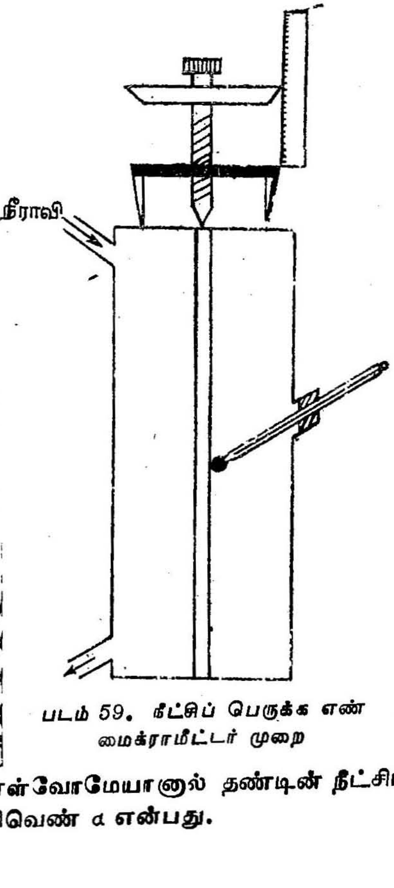
எனவே கலம், உள்ளீடற்று இருப்பினும் அதன் பெருக்கங்கள் அஃதொத்த உள்ளீடுடைய கலத்தின் பெருக்கங்களோடு ஒத்த தன்மையன. இவ்வுண்மையை இதேபோல் எவ்வடிவ கலத்துக்கும் நிரூபிக்கலாம்.

நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைக் காணல்: கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைக் கணக்கிட செய்யப்படுகின்ற பரிசோதனைகளில், அப் பொருள் நீளமான தண்டு வடிவத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. அறை வெப்பநிலையில் அதன் ஆரம்ப நீளம் மில்லிமீட்டர் திருத்தமாக அளவிடப்படுகிறது. தண்டின் வெப்பநிலை அறை வெப்பநிலையிலிருந்து நீரின் கொதிநிலை வரை உயர்த்தப்படும்பொழுது தண்டின் நீளத்தில் ஏற்படும் விரிவு துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பெறும். எனவே அப் பொருளின் நீட்சிப்பெருக்க எண் α நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

(1) **மைக்ராமீட்டர் முறை** (Micrometer method): நீட்சிப் பெருக்க எண் கணக்கிடப்படவேண்டிய உலோகத்தினாலான ஒரு மீட்டர் நீளமும், சீரான குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பும் உடைய ஒரு தண்டு, நீராவி அறை ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டு உள்ளது. தண்டின் கீழ்முனை உறையின் அடியோடு உறுதியாகப் பிணைக்கப்

பட்டுள்ளதால், தண்டு கீழ்நோக்கி விரிவடையாது. தண்டின் மேல்முனை சமதளமாக உள்ளது. அத் தளத்தின்மேல் திருகின் முனை தொடக்கூடியவாறு ஒரு நுண்ணளவித்திருகோ (Spherometer Screw) வைக்கப்பட்டு உள்ளது. திரிகின் கால்கள் ஒரு சமதளக் கண்ணாடித் தகட்டினால் தாங்கப்படுகின்றன.

உலோகத் தண்டின் ஆரம்ப நீளம் L அளவிடப்படவேண்டும். திருகின் நுனி தண்டின் மேற்சமதளப்பரப்பைத் தொடுமாறு திருகினை இயக்கி, திருகின் தலைக்கோல் அளவீட்டையும், புரியிடைக்கோல் அளவீட்டையும் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். பிறகு திருகினைப் பின்னியக்கி, தண்டு பெருக்கமடைவதற்குப் போதுமான இடம் விட்டுவிடவேண்டும். நீராவி உறைக்குள் நீராவியை இனி செலுத்துவோமேயானால் தண்டின் வெப்பநிலை உயர்ந்து அது மேல் நோக்கி விரிவடையும். தண்டின் பெருக்கம் முற்றுப் பெற்ற பின்னர் திருகின்முனை தண்டின் மேற்பரப்பை மீண்டும் தொடுமாறு செய்து மொத்த அளவீட்டினைக் கணக்கிட வேண்டும். இவ்விரு அளவீடுகட்கு இடையே உள்ள வேறுபாடு தண்டின் நீளத்தில் ஏற்பட்டுள்ள உயர்வை x அளிக்கிறது. அறை வெப்பநிலையையும், நீராவியின் வெப்பநிலையையும் முறையே t_1°C, t_2°C எனக் கொள்வோமேயானால் தண்டின் நீட்சிப் பெருக்க எண் அல்லது நீள்விரிவெண் α என்பது.



படம் 59. நீட்சிப் பெருக்க எண் மைக்ராமீட்டர் முறை

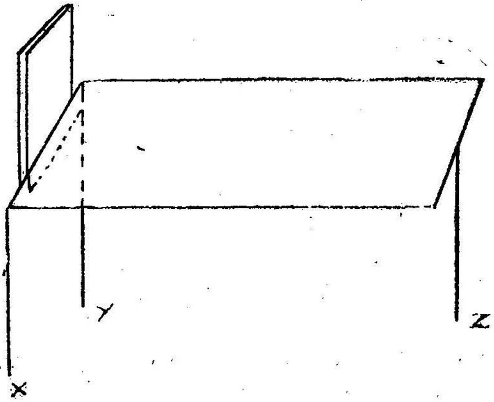
Important

$$\therefore \quad \alpha = \frac{x}{L(t_2 - t_1)}$$

(2) ஒளியியல் நெம்புகோல்முறை (Optic Lever Method); இம் முறையில் உலோகத்தண்டின் நீட்சிப்பெருக்க எண்ணைக்

கணக்கிட ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோல் (Single optic Lever) ஒன்று பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோல் என்பது கூரிய முனைகளை உடைய X, Y, Z, எனப்படும் மூன்று கால்களின்மேல் பொருத்தப்பட்ட சமதள தகட்டை உடையது. X, Y கால்களை இணைக்கும் நேர்கோட்டைச் சமகூறுகளாகப் பிரிக்கும் செங்குத்துக் கோட்டின்மேல் Z, என்ற கால் உள்ளது. உலோகத்தகட்டுக்குச் செங்குத்தாகவும் X, Y என்ற கால்களுக்கு இணையாகவும், அக் கால்களின்மேலே ஒரு சமதள ஆடித்துண்டு வைக்கப்பட்டுள்ளது.

ஏறத்தாழ 50 செ. மீ. நீளமும் சீரான குறுக்குவெட்டுப் பரப்பும் உடைய ஓர் உலோகத்தண்டு, ஒரு நீராவி அறையில்



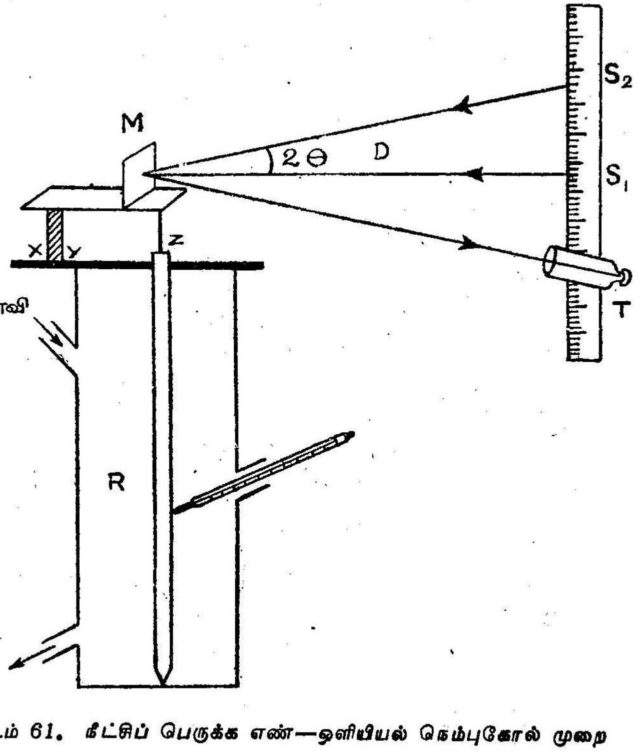
படம் 60. ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோல்

வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் மேல்முனை, நீராவி உறையின் உச்சியிலுள்ள ஒரு சிறு துவாரத்தின் வழியே சிறிதளவு வெளியே நீட்டிக் கொண்டிருக்கும். தண்டின் மேல்முனை சமதளப் பரப்பாகும்.

இத் தளத்தின் மேல் ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோல் ஆடியின் முன்காலையும் (Z) ஒரு நிலையான மேடையின்மேல் மற்ற இருகால்களையும் படத்தில் காட்டிய வண்ணம் வைத்தல் வேண்டும். ஒளியியல் நெம்புகோல் ஆடிக்குமுன் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் ஒரு மீட்டர் அளவுகோலைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி, ஆடியில் தெரியும் அளவுகோலின் பிம்பத்தைத் தொலைநோக்கியில் தெளிவாகத் தெரியும்படிச் சரிசெய்து கொள்ளவேண்டும்.

உலோகத் தண்டின் நீளத்தையும், நீராவி உறையின் ஆரம்ப வெப்பநிலையையும் முதலில் அறிந்துகொள்ளவேண்டும். ஆடியில்

பட்டு எதிரொளித்துப் பின்னர் தொலைநோக்கியின் குறுக்குக் கம்பிகளின் சந்தியோடு இணைந்துள்ள தெளிவாகத் தெரிகின்ற அளவீடு S_1 ஐ குறித்துக்கொண்ட பின்னர், நீராவி உறையினுள் நீராவியைச் செலுத்தவேண்டும். தண்டு விரிவடைதலால் ஒளியியல் நெம்புகோலும், ஆடியும் θ அளவு கோணத்தில்



படம் 61. நீட்சிப் பெருக்க எண்—ஒளியியல் நெம்புகோல் முறை

திருப்பப்படுகின்றன. இப்பொழுது தொலைநோக்கியில் வேறொரு அளவீடு தெரியும். தண்டின் பெருக்கம் முற்றுப்பெற்றதும் அதாவது, இவ் வளவீடு S_2 நிலையாக நின்றவுடன் அதைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும்.

X, *Y* கால்களை இணைக்கும் நேர்கோட்டை இரு கூறுகளாக்கும் செங்குத்துக்கோட்டில் '*d*' தொலைவில் *Z*, என்ற கால் இருக்குமேயானால் ஆடித் திருப்பப்பட்ட கோணம் θ என்பது,

$$\theta = \frac{e}{d} \qquad \cdots \quad (1)$$

சமன்பாட்டில் e என்பது தண்டினுடைய நீள்விரிவாகும். ஆடிக்கும், அளவுகோலுக்கும் இடையே உள்ள தூரம் D எனவும், தொலைநோக்கியில் தெரியப்பெற்ற இரு அளவீடுகட்கு இடைப்பட்ட வேறுபாடு $(S_1 \sim S_2)$ x எனவும், கொள்வோமாயின்,

$$2\theta = \frac{x}{D}$$

$$\therefore \theta = \frac{x}{2D} \qquad \ldots \quad (2)$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட,

$$\frac{e}{d} = \frac{x}{2D}$$

$$\therefore \quad e = \frac{x \cdot d}{2D}$$

உலோகத்தண்டின் ஆரம்ப நீளத்தை l எனவும், ஆரம்ப வெப்பநிலை, இறுதி வெப்பநிலைகளை முறையே $t_1°C$, $t_2°C$ எனவும் கொண்டால், தண்டின் நீட்சிப்பெருக்க எண் α என்பது

$$\alpha = \frac{e}{l\,(t_2 - t_1)} = \frac{xd}{2Dl\,(t_2 - t_1)}$$

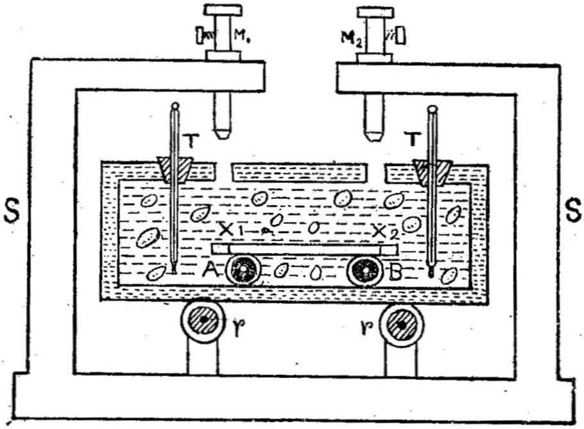
இப் பரிசோதனை செய்தற்கு எளிமையாகவும், இதனுடைய முடிவுகள் துல்லியமாகவும் இருப்பதால் ஒரு பொருளின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைக் கணக்கிட ஆய்வகங்களில் இம் முறையே பெரிதும் பின்பற்றப்படுகிறது.

(3) காம்பரட்டர் முறை (Comparater Method): இது படித்தர நுட்பமான முறையாகும். சட்டமாகவோ, குழாயாகவோ, கம்பியாகவோ உள்ள உலோகங்களின் நீட்சிப்பெருக்க எண்ணை, தெரிந்த உயர்வெப்பநிலைக்குச் சூடுபடுத்துவதற்கு முன்னும், பின்னும் படித்தர மீட்டருடன் ஒப்பிட்டு, கணக்கிட இம் முறை பெரிதும் பயன்படுகிறது.

நீட்சிப்பெருக்க எண் அறியப்படவேண்டிய உலோகத்தாலான தண்டினை இருபுறமும் விரிவடைவதற்கு வசதியாக இருக்குமாறு கிடையாக இரு சிறு உருளைகள் γ, γ மேல் இரட்டைச் சுவற்றை உடைய நீண்ட தொட்டியினுள் வைக்கப்படுகிறது. அதுபோலவே மற்றொரு நீண்ட தொட்டியில் ஒரு மீட்டர் அளவுகோல் வைக்கப்பட்டு இருக்கும். M_1, M_2 என்ற இரு நுண்ணோக்கிகள் தண்டுக்கு இணையாக நகரும் வண்ணம் நிலையான தாங்கிகளில் செங்குத்

தாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. கொடுக்கப்பட்ட தண்டின் (AB) இரு முனைகட்கு அருகிலும் கிட்டத்தட்ட ஒரு மீட்டர் தொலைவில் இருக்குமாறு இரு குறியீடுகள் X_1, X_2 பொறிக்கப்பட்டுள்ளன.

இரு தொட்டிகளும், தூய நீருடன் கலந்த பனிக்கட்டித் துண்டுகளால் நிரப்பப்படவேண்டும். இரு சுவர்களுக்கிடையே உருகுகின்ற பனிக்கட்டி வைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. தொட்டியில் உள்ள தண்டின் வெப்பநிலையை அறிய இரு வெப்பநிலைமானிகள் T, T



படம் 62. நீட்சிப்பெருக்க எண்—காம்பரட்டர் முறை

கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இரு தண்டுகளும் $0°C$ வெப்பநிலையை நிலையாக அடைந்த பின்னர் மீட்டர்கோல் உள்ள தொட்டி, நுண்ணோக்கிகளின் அடியில் கொண்டுவரப்படவேண்டும். நுண்ணோக்கிகளைச் சரிசெய்து அவற்றின் குறுக்குக் கம்பிகளின் சந்திகளோடு அளவுகோலின் முனைகள் இணையுமாறு செய்யவேண்டும். இப்பொழுது இந்த நுண்ணோக்கிகளுக்கு இடையிலுள்ள தூரம் துல்லியமாக ஒரு மீட்டராகும். அளவுகோல் உள்ள தொட்டியை வெளியே நகர்த்திவிட்டுப் பரிசோதனைக்குரிய தண்டுள்ள தொட்டியைப் நுண்ணோக்கிகளுக்கு அடியில் நகர்த்தி வைக்க வேண்டும். நுண்ணோக்கிகளை உள்நோக்கியோ (அல்லது) வெளிநோக்கியோ தேவையானவாறு நகர்த்தித் தண்டின்மேல் வரையப்பட்டுள்ள இரு குறியீடுகளும் குறுக்குக் கம்பிகளின் சந்திகளோடு இணையுமாறு செய்தல்வேண்டும். நுண்ணோக்கிகள் நகர்த்தப்பட்ட தூரம் x செ. மீ. எனில், தண்டின் மேலுள்ள இரு குறியீடுகட்கு இடையிலுள்ள தூரம், $0°C$ வெப்பநிலையில் $100 \pm x$ ஆகும். இம் மதிப்பை L எனக்கொள்வோம்.

பரிசோதனைக்குரிய தண்டுள்ள தொட்டியில் நிரப்பப்பட்டுள்ள பனிக்கட்டித் துண்டுகளை அகற்றிவிட்டு உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ($t°C$) நீரால் தொட்டியை நிரப்பவேண்டும். சுவர்கட்கு இடையேயும் அவ் வெப்பநிலையிலுள்ள நீரே ஊற்றி வைக்கப்பட வேண்டும். தண்டின் பெருக்கம் முடிந்த பின்னர், தண்டின் மேலுள்ள இரு குறியீடுகட்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை, முன் போலவே குறியீடுகளைக் குறுக்குக் கம்பிகளின் சந்திகளோடு இணையும் வண்ணம் நுண்ணோக்கிகளை நகர்த்தி, அளவிட வேண்டும். நுண்ணோக்கிகளை வெளிநோக்கி நகர்த்திய தூரம் l என அளக்கப்பெற்ருல், தண்டின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α என்பது

$$T = \frac{b}{L \cdot t}$$

திடப்பொருள்களின் பெருக்கத்தால் ஏற்படும் சில விளைவுகள். ஈடுசெய்யப்பெற்ற ஊசல்களும், சமனச் சக்கரமும்: கடிகார ஊசலின் அலைவு நேரத்திற்கும் (T), ஊசலின் நீளத்திற்கும் (l) உள்ள தொடர்பை,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்பதை நாம் அறிவோம்.

இப்பொழுது $l_1° C$ வெப்பநிலையில் கடிகாரம் சரியாக நேரம் காட்டுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது எனக் கொள்வோம். அவ் வெப்பநிலையில் கடிகார ஊசலின் நீளம் l_1 செ.மீ. எனவும், அதன் அலைவு நேரம் T_1 வினுடிகள் எனவும் கொள்வோமே யானுல்,

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}} \quad \dots (2)$$

$t_2°C$ வெப்பநிலையில் ஊசலின் நீளம் l_2 எனவும், அலைவு நேரம் T_2 வினுடிகள் எனவும் கொள்க. எனவே,

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}} \quad \dots (2)$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட

$$\frac{T_2}{T_1}\sqrt{\frac{l_2}{l_1}}$$

$0°C$ வெப்பநிலையில் ஊசலின் நீளம் lo எனவும், ஊசலின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{lo\,(1+\alpha\, t_2)}{to\,(1+\alpha\, t_1)}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{1+\alpha\, t_2}{1+\alpha\, t_1}} = \sqrt{1+\alpha\, t_2\,)\,(1-\alpha\, t_1)}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = [1 + d\,(l_2 - t_1\,]^{\frac{l}{2}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 + \frac{\alpha}{2}(t_2 - t_1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} - 1 = \tfrac{1}{2}\,\alpha\,(\,(t_2 - t_1)$$

(அல்லது) $$\frac{T_2 - T_1}{T_1} = \tfrac{1}{2}\,\alpha\,(t_2 - t_1)$$

T_2, T_1 ஆகியவை மதிப்பில் ஏறத்தாழ சமமாதலால், பகுதியில் T_1-க்குப் பதிலாக T_2 எனக் கொள்வோமேயாயின் பிழை நேராது.

எனவே,

$$\frac{T_2 - T_1}{T_2} = \tfrac{1}{2}\,\alpha\,(t_2 - t_1)$$

கடிகாரம் $t_1°C$ வெப்பநிலையிலேயே சரியான நேரம் காட்டும் என்பதால் ஊசலின் ஒரு அலைவுக்கு, வெப்பநிலை எதுவாயினும் அது T_1 வினாடிகளே காட்டும். எனவே $t_2°C$ வெப்பநிலையில் ஊசல் ஒரு அலைவுக்கு உண்மையாக t_2 வினாடிகள் எடுத்துக் கொண்டாலும், கடிகாரம் T_1 விநாடிகள்தான் பதிவு செய்யும். அதாவது கடிகாரம் T_2 விநாடிகளுக்கு T_1 விநாடிகளே காட்டு கிறது. எனவே N விநாடிகளுக்குப் பின்னர் அது $N\frac{T_1}{T_2}$ விநாடிகளே பதிவு செய்யும்.

N விநாடிகளில் கடிகாரம் இழக்கும் நேரம்,

$$= N - N\frac{T_1}{T_2} = N(1 - \frac{T_1)}{T_2)}$$

$$= N\frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$=\frac{\frac{1}{2}}{2} N \cdot a \cdot (t_2 - t_1)$$

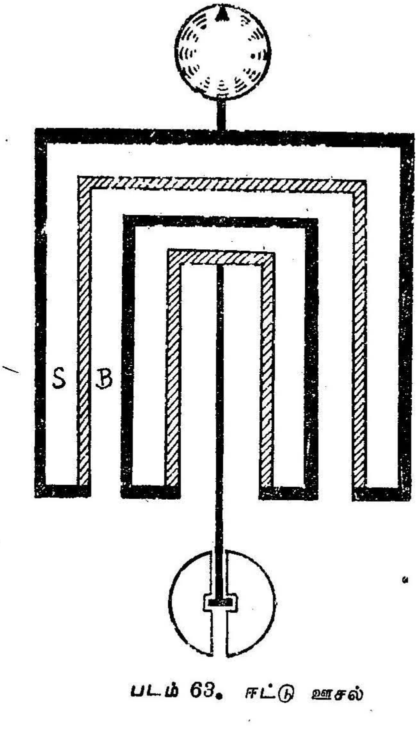
$$\left(\because \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \frac{1}{2} a (t_2 - t_1)\right)$$

∴ ஒரு நாளைக்குக் கடிகாரம் இழக்கும் நேரம்,

$$= \therefore \times 24 \times 60 \times 60 \times a \times (t_2 - l_1)$$

$$= 43200\ a\ (l_2 - l_1)$$ விநாடிகள்.

ஹாரிசன் இரும்பு வரிச்சட்ட ஈட்டு ஊசல் (Harrison's Compensated grid-iron Pendulum): இந்த ஊசலில் எஃகுத் தண்டுகளும், பித்தளைத் தண்டுகளும் படத்தில் காட்டியவாறு



படம் 63. ஈட்டு ஊசல்

இணைக்கப்பட்டு உள்ளன. இந்த அமைப்பில் எஃகுத் தண்டுகள் கீழ்நோக்கியும், பித்தளைத் தண்டுகள் மேல்நோக்கியும் விரிவடையுமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. பித்தளை இரும்பைவிட அதிகமாக விரிவடையும் இயல்பு உடையதால் அவைகளின் நீளம் போதிய

விகிதத்தில் இருக்கவேண்டும். எஃகுத் தண்டுகள் எந்த அளவு கீழ்நோக்கி விரிவடையுமோ அதே அளவு பித்தளைத் தண்டுகள் மேல்நோக்கி விரிவடைதலால் ஊசலின் நீளம் மாறாது இருக்கும்.

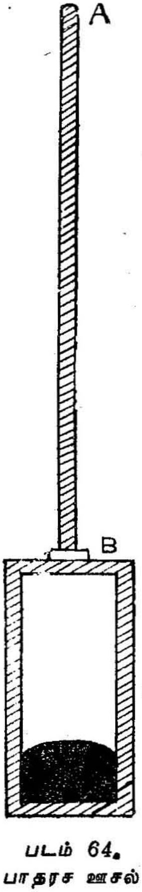
எஃகின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α_I எனவும், பித்தளையின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α_B எனவும் கொள்வோம். வெப்பநிலை மாறுபாடு $t°C$ என்க. எஃகுத் தண்டின் l_1 செ.மீ. நீளமும், பித்தளைத் தண்டுகள் l_2 செ.மீ. உடையன என்றால்,

$$l_1 \alpha_I t = l_2 \alpha_B t$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\alpha_B}{\alpha_I} = \frac{0{\cdot}000018}{0{\cdot}000012} = \frac{3}{1}$$

எனவே இரும்பு, பித்தளைத் தண்டுகள் 3 : 2 என்ற விகிதத்தில் வேண்டும்.

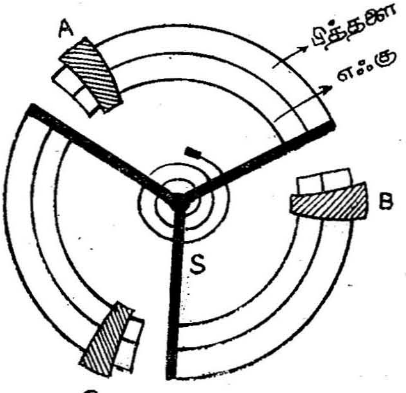
கிரஹாமின் பாதரச ஊசல் (Graham's Mercurial Pendulum): இந்த அமைப்பில் எஃகுத் தண்டின் நீளப் பெருக்கத்தை ஈடுசெய்யும் பாதரசம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு நீளமான எஃகுத் தண்டின் (AB) அடியில் தேவையான அளவுள்ள பாதரசம் வைக்கப்பட்டுள்ள எஃகுச் சேமக்கலம் C இணைக்கப்பட்டுள்ளது. எஃகுத் தண்டு கீழ்நோக்கி விரிவடையும்பொழுது பாதரசம் மேல் நோக்கி விரிவடையும். இவ்விரு பெருக்கங்களும் சமமாக இருப்பின், இவ்வமைப்பின் ஈர்ப்புத் தானம் மாறாது நிலையாக இருக்கும். எனவே ஊசலின் பயனுறு நீளம் மாறாததாக இருக்கும்.



படம் 64.
பாதரச ஊசல்

ஈடுசெய்யப்பட்ட சமனச் சக்கரம் (Compensated Balance Wheel): கைக்கடிகாரங்களில் ஊசலுக்குப் பதிலாகச் சமனச் சக்கரம் உள்ளது. அதன் அலைவு நேரம், நுண்ணிழைச் சுருள் வில்லின் (Hair Spring) வலிமையையும், சக்கரத்தின் நிலைமத் திருப்புத் திறனையும் (Moment of Inertia) பொருத்தது. வெப்பநிலை உயர்வு சுருள் வில்லின் வலிமையைக் குறைக்கின்றது. மேலும் சக்கரத்தின் ஆரத்தை அதிகமாக்குகின்றது. இவற்றின் விளைவாகச் சக்கரத்தின் அலைவுநேரம் அதிகரிக்கும். இதை ஈடுசெய்ய

சக்கரத்தின் விளிம்பு மூன்று பிரிவுகளாகப் பகுக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு பிரிவும் இரு உலோகப்பட்டைகளை உடையது. அதிகமாக விரிவடையும் உலோகப்பட்டை வெளிப்புறம் அமைக்கப்பட்டு உள்ளது. ஒவ்வொரு பகுதியின் நுனியிலும் தக்க சிறு எடைகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. பித்தளை அதிகம் பெருக்க



படம் 65. ஈடுசெய்யப்பட்ட சமனச் சக்கரம்

மடைவதால், ஒவ்வொரு பகுதியும் உள்நோக்கி வளைந்து சக்கரத்தின் ஆரத்தினுடைய மதிப்பைக் குறைக்கும். மேலும், எடைக் கற்கள் சரியானபடி நகருமாறு அமைக்கப்பட்டு இருந்தால், அலைவு நேரத்தில் ஏற்படும் உயர்வு ஈடுசெய்யப்பட்டுவிடும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

பித்தளை ஊசலைக்கொண்ட ஒரு கடிகாரம் $15°C$ வெப்பநிலையில் சரியான காலத்தைக் காட்டுகிறது. ஆனால், $20°C$ வெப்பநிலையில் அது ஒரு நாளில் 4 வினாடிகளை இழக்கிறது. பித்தளையின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைக் காண்க.

$t_1°C$ வெப்பநிலையிலே சரியான காலத்தைக் காட்டுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ள கடிகாரம் $t_2°C$ வெப்பநிலையில், N வினாடிகளில் இழக்கும் நேரம்,

$$= \frac{1}{2} N; \alpha (t_2 - t_1)$$

α என்பது பித்தளையில் நீட்சிப்பெருக்க எண்ணாகும்.

$\therefore$ கடிகாரம் ஒருநாளைக்கு இழக்கும் நேரம் $\Big\} = \frac{1}{2} \times 24 \times 60 \times 60 \times \alpha\,(20 - 15)$

ஆனால் இதன் மதிப்பு 4 வினாடிகளாகும்.

எனவே,

$$\frac{1}{2} \times 24 \times 60 \times 60\,\alpha \times 5 = 4$$

$$\alpha = \frac{4 \times 2}{24 \times 60 \times 60 \times 5}$$

$$= 1{\cdot}851 \times 10^{-5}$$

$\therefore$ பித்தளையின் நீட்சிப்பெருக்க எண் $= 1{\cdot}851 \times 10^{-5}$

3. திரவங்களின் பெருக்கம்

(Expansion of Liquids)

திரவங்களுக்குத் தனிப்பட்ட உருவம் கிடையாது. எந்தக் கொள்கலத்தில் வைக்கப்படுகின்றனவோ, அந்தக் கலத்தின் உருவத்தையே அத் திரவம் கொண்டு இருக்கும். எனவே திரவங்களின் வெப்பநிலை உயர்வடையும்பொழுது அதன் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கத்தைக் கணக்கிடுதல் மட்டுமே போதுமானது. மேலும் திரவங்களை வெப்பப்படுத்தும் பொழுது திரவமட்டுமன்றி அது வைக்கப்பட்டுள்ள கொள்கலமும் பருமனில் விரிவடையும். எனவே திரவத்தின் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கமாக நாம் அளவிடுவது, திரவத்தின் உண்மை பருமப் பெருக்கம் அன்று. எனவே திரவங்களைப் பொருத்தவரை நாம் இரண்டு பருமப் பெருக்க எண்களை வரையறை செய்ய வேண்டி உள்ளது. திரவங்களின் உண்மை பருமப் பெருக்கத்தோடு தொடர்புடைய தனிப் பெருக்க எண் (Coefficient of Absolute Expansion) திரவத்தில் நாம் அளவிடும் பரும விரிவோடு தொடர்புடைய தோற்றப் பெருக்க எண் (Coefficient of Apparent Expansion) என இரண்டாகும்.

ஓரலகு பருமனுள்ள திரவத்தின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்தும்பொழுது, அதன் பருமனில் ஏற்படும் உண்மையான பெருக்கமே அத் திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் எனப்படும்.

ஓரலகு பருமனுள்ள தாவரத்தின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்தும் பொழுது அதன் பருமனில் நாம் அளவிடக்கூடிய பெருக்கமே அத் திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண் எனப்படும்.

குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள திரவத்தின் வெப்பநிலைகள் θ_1°C, θ_2°C என்று இருக்கும்பொழுது, அதன் பருமன்கள் V_1, V_2 எனக்

கொள்வோமேயானால், அத் திரவத்தின் பருமப் பெருக்க எண் γ என்பது,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1 (\theta_2 - \theta_1)}$$

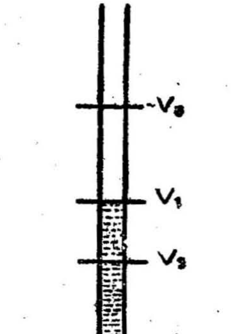
$$\therefore \quad V_2 = V_1 [1 + \gamma(\theta_2 - \theta_1)]$$

கிட்டத்தட்ட எல்லா திரவங்களின் பெருக்கங்களும் சீரற்றவை. எனவே இப்பருமப்பெருக்க எண் ஒரு மாறிலியாக இராது. இதனால் பொதுவாக $0°C$ வெப்பநிலையில் ஒரு திரவத்தின் பருமன் V_0 எனவும், $t°C$ வெப்பநிலையில் அத் திரவத்தின் பருமன் V எனவும் கொண்டால், சுழிப்பருமப் பெருக்க எண் (Zero Coefficient of Volume Expansion) என்பது,

$$\gamma_0 = \frac{V - V_0}{V_0 t}$$

$$\therefore \quad V = V_0 (1 + \gamma_0 t)$$

எனவே $0°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஓரலகு பருமன் கொண்ட திரவத்தின் வெப்பநிலையை $1°C$ உயர்த்தினால் அத் திரவத்தின் பருமனில் ஏற்படும் விரிவு சுழிப்பருமப் பெருக்க எண் எனப்படும்.



படம் 66.

தனிப்பெருக்க எண்ணுக்கும், தோற்றப் பெருக்க எண்ணுக்கும் உள்ள தொடர்பு: ஒரு செங்குத்தான நுண் குழாயுடன் கூடிய பெரிய குடுவை ஒன்றில் ஒரு திரவம் வைக்கப்பட்டு இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதன் ஆரம்பப் பருமனைக் குழாயிலுள்ள V_1 என்ற குறியீட்டால் குறிப்போம். திரவத்தின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $t_1°C$ என இருக்கட்டும். வெப்பநிலையை $t_2°C$-க்கு உயர்த்தப் படுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வெப்பநிலை உயர்வு முதலில் கலத்தை மட்டும் விரிவடையச் செய்வதாகவும் கொள்வோம். குடுவை விரிவடைதலால் திரவமட்டம் கீழே இறங்கும். இம் மட்டத்தை V_2 என்போம். $V_1 - V_2$ கலத்தின் பருமனில் ஏற்பட்டுள்ள விரிவைக் குறிக்கிறது. கலத்தின் பருமப் பெருக்க எண் γ_g எனில்,

$$V_1 - V_2 = V_1 \gamma g (t_2 - t_1) \quad \dots \quad (1)$$

இனி வெப்பநிலை உயர்வு திரவத்தை விரிவடையச் செய்வதாகக் கருதுவோம். திரவம் பெருக்கமடைந்து V_3 என்ற நிலைக்கு உயரட்டும். $V_3 - V_2$ திரவத்தின் உண்மைப் பரும விரிவைக் குறிக்கிறது. γ_R என்பது திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் எனக் கொள்வோமேயாயின்,

$$V_3 - V_2 = V_2 \gamma_R (t_2 - t_1) \quad \dots \quad (2)$$

எனவே வெப்பம் ஒரே சமயத்தில் குடுவையையும், திரவத்தையும் விரிவடையச் செய்கிறது. ஆகையால் திரவமட்டம் முதலில் கீழிறங்கி பின்னர் மேலே உயர்வதை அளவிட இயலாது. அதாவது திரவம் V_1 என்ற நிலையில் இருந்து V_3 என்ற நிலைக்கு உயர்வதை மட்டுமே கண்ணுற இயலும். திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண்ணை γ_A என்போமேயானுல்,

$$V_3 - V_1 = V_1 \gamma_A (t_2 - t_1) \quad \dots \quad (3)$$

முதல் சமன்பாட்டையும், மூன்ருவது சமன்பாட்டையும் கூட்ட,

$$V_3 - V_2 = V_1 \gamma g \ (t_2 - t_1) + V_1 \gamma_A \ (t_2 - t_1)$$

இச் சமன்பாட்டினை, இரண்டாம் சமன்பாட்டோடு ஒப்பிட,

$$V_2 \gamma_R (t_2 - t_1) = V_1 \gamma g \ (t_2 - t_1) + V_1 \gamma_A (t_2 - t_1)$$

V_1, V_2 ஆகியவை ஏறத்தாழ சமம் ஆதலால்,

$$\gamma_R = \gamma g + \gamma_A$$

அதாவது

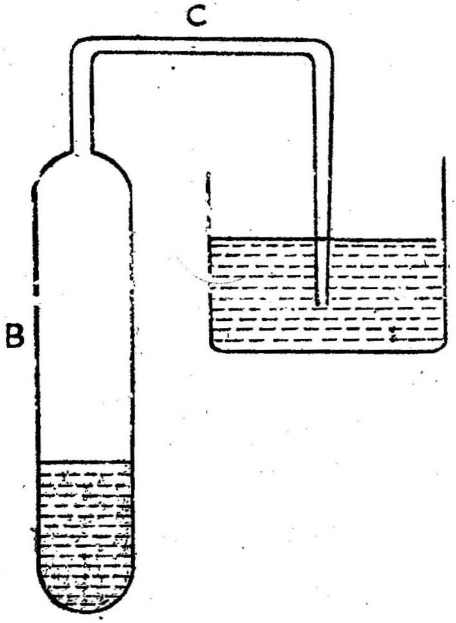
திரவத்தின் தனிப்பெருக்க எண் = கலத்தின் பருமப் பெருக்க எண் + திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண்

தோற்றப்பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனை

எடை வெப்பநிலைமானி முறை (Weight Thermometer): எடை வெப்பநிலைமானி, பைக்னுமீட்டர், அடர்த்திக் குப்பி ஆகியவற்றுள் ஏதேனும் ஒன்றைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் ஒரு திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண்ணைக் கணக்கிடலாம். எடை வெப்பநிலைமானி என்பது இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட நுண்ணிய சீரான குழாய் பொருத்தப்பட்ட ஒரு சிலிண்டர் வடிவக் குமிழை உடையது. குமிழின் அடிப்பாகம் வளைவாக இருக்கும். குழாயின் முனையைத் திரவத்தினுள் இருக்குமாறு வைத்துக்

குமிழை மாறி மாறி சூடேற்றியும், குளிர்வித்தும், எடை வெப்பநிலை மானியைத் திரவத்தால் நிரப்பலாம்.

பைக்னுமீட்டர் (Pyknometer) என்ற கருவியும் ஒரு நீண்ட சிலிண்டர் வடிவக் குமிழை (*B*) உடையது. அதன் ஒரு முனையில் ஒருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட நுண்குழாய் *DC* ஒன்று பொருத்தப்பட்டுள்ளது. குமிழின் மறுமுனையில் படத்தில் காட்டிய வண்ணம் வளைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு நுண்குழாய் *A* இணைக்கப்பட்டு உள்ளது. நுண்குழாய் *DC*யின்மேல் *M* என்ற குறியீடு பொறிக்கப்

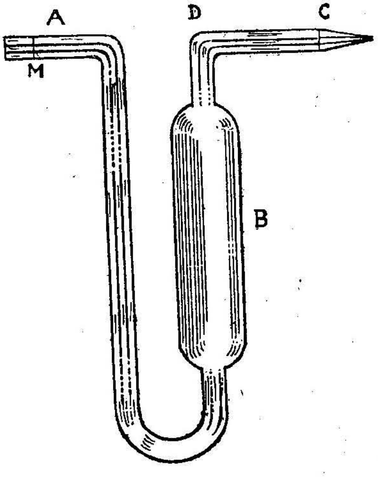


படம் 67. எடை வெப்பநிலைமானி

பட்டுள்ளது. *C* என்ற முனையைத் திரவத்தினுள் வைத்து, *A* என்ற முனை வழியே நாம் உறிஞ்சினல் கொடுக்கப்பட்ட திரவம் கருவியினுள் வந்து நிரம்பும்.

ஓர் எடை வெப்பநிலைமானியையோ (அல்லது) ஒரு பைக்னுமீட்டரையோ காற்றில் எடையிடவேண்டும். இந்தக் கருவியின் நிறை W_1 கிராம் என்க. கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தால் காற்றுக் குமிழிகள் இல்லாவண்ணம், கருவியை நிரப்பி, அதன் நிறையைக் (W_2 கிராம்) கண்டுபிடித்தல் வேண்டும். ஒரு நீர்த் தொட்டியினுள் இக் கருவியை வைத்துத் தொட்டியைச் சூடேற்றவேண்டும்.

திரவம் வெப்பத்தினால் விரிவடைந்து துளையின் வழியே கசியத் துவங்கும். இவ்வாறு பெருக்கமடைந்து வெளியே வருகின்ற திரவத்தை மையொற்றுத் தாளால் நன்கு ஒற்றிவிடவேண்டும். திரவம் வெளியே கசிவது நின்றவுடன் நீர்த் தொட்டியின் வெப்ப நிலையைக் (θ_2 °C) குறித்துக்கொண்டு கருவியை வெளியே எடுத்து அதன் வெளிப்புறத்தை நன்கு துடைத்துக் குளிர வைத்தல் வேண்டும். பின் கருவியின் நிறையை (W_3 கிராம்) எஞ்சிய திரவத்துடன் கணக்கிடுதல்வேண்டும். அறை வெப்பநிலையை θ_1°C எனக் கொள்வோம்.



படம் 68. பைக்னமீட்டர்

எடை வெப்பநிலைமானி ஒன்றின் நிறை $= W_1$ கிராம்.

θ_1°C வெப்பநிலையில், எடை வெப்பநிலைமானியும் திரவமும் சேர்ந்து நிறை $= W_2$ கிராம்.

θ_2°C வெப்பநிலையில், எடை வெப்பநிலைமானியும் திரவமும் சேர்ந்து நிறை $= W_3$ கிராம்.

θ_1°C வெப்பநிலையில் கருவியை நிரப்பும் திரவத்தின் நிறை

$= (W_2 - W_1)$ கி. $= m_1$ என்க.

θ_2°C வெப்பநிலையில் கருவியை நிரப்பும் திரவத்தின் நிறை

$= (W_3 - W_1)$ கி. $= m_2$ என்க.

கருவியின் கொள்ளளவு $V cc$ எனக் கொள்வோம். மேலும் வெப்பநிலை உயர்வடையும்பொழுது கருவியின் பருமன் மாறாது இருக்கிறது எனக் கருத்திற் கொள்வோமேயானால்,

$\theta_1\,^\circ C$ வெப்பநிலையில் ஒரு கிராம் திரவத்தின்

$$\text{பருமன்} = \frac{V}{m_1} = v_1 \text{ என்க}$$

$\theta_2\,^\circ C$ வெப்பநிலையில் ஒரு கிராம் திரவத்தின்

$$\text{பருமன்} = \frac{V}{m_2} = v_2 \text{ என்க.}$$

திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண் γ_A எனில், வரையறைப்படி,

$$\gamma_A = \frac{v_2 - v_1}{v_1\,(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{V/m_2 - V/m_1}{V/m_1\,(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2\,(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{W_2 - W_3}{(W_3 - W_1)\,(\theta_2 - \theta_1)}$$

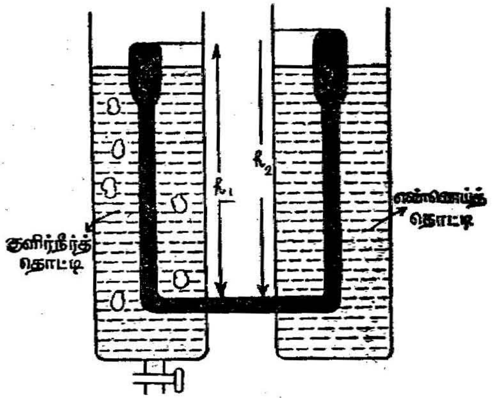
$$\therefore\ \gamma_A = \frac{\text{வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் நிறை}}{\text{எஞ்சியுள்ள திரவத்தின் நிறை} \times \text{வெப்பநிலை உயர்வு}}$$

எனவே கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண் γ_A கணக்கீடு செய்யப்படும்.

சரியீட்டுத் தம்ப முறையில் (Method of Balancing Columns) ஒரு திரவத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணைக்காணல்: இருவேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள ஒரே திரவத் தம்பங்கள் அளிக்கும் அழுத்தங்களைச் சரியீடு செய்வதன்மூலம், அவ்விரு வெப்பநிலைகளில் அத் திரவத்தின் அடர்த்திகளை ஒப்பிடுதல் இயலும். இதனால் ஒரு திரவத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணை எளிதில் கண்டுபிடிக்க முடிகிறது. திரவக் கம்பம் ஒன்றினால் ஏற்படும் அழுத்தம் அத் திரவக் கம்பத்தின் உயரத்தையும் (h), அடர்த்தியையும் (d) அவ்விடத்தின் ஈர்ப்பு முடுக்கத்தையும் (g) பொருத்தது. இதைத் தான் $P = hdg$ என்ற சமன்பாடு குறிக்கின்றது. எனவே, ஒரு திரவத் தம்பத்தின் அழுத்தம், அத் திரவம் வைக்கப்படுகின்ற கலத்தின் உருவத்தையோ, குறுக்குவெட்டுப் பரப்பையோ பொருத்ததல்ல என்பது தெளிவு. ஆகையால் இருவேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள திரவத்தின் அடர்த்திகளை ஒப்பிடுதலால் கிடைக்கப்பெறும் பருமப் பெருக்க எண், திரவமுள்ள கலத்தின் பருமனை எவ்விதத்திலும் பொருத்ததல்லவாதலால், இது தனிப்பெருக்க எண்ணாகும்.*

டியூலாங்-பெட்டிட் முறை (Dulong and Petit's Method): சரியீட்டுத் தம்பங்களின் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி 1817ஆம் ஆண்டு டியூலாங், பெட்டிட் என்பவர்கள், பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் கண்டுபிடித்தனர்.

U-வடிவத்தைக் கொண்ட இவர்களது கருவி, முனைகளில் திறந்தும், அகன்றும், மற்ற இடங்களில் குறுகியும் காணப்படுகிறது. ஒரு புயத்தை ஒரு குளிர்த் தொட்டியிலும், மறுபுயத்தைச் சூடான எண்ணெய்த் தொட்டியிலும் வைக்கவேண்டும். இம்முறை எல்லா திரவங்களுக்கும் பொருந்துமாயினும், டியூலாங்கும், பெட்டிட்டும் பாதரசத்தையே U-குழாயில் நிரப்பினர். திரவ



படம் 69. பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண்—டியூலாங் பெட்டிட் முறை

மட்டங்கள் மாறாத நிலையை அடைந்த பிறகு, குளிர்த் தம்பத்தின் உயரத்தையும், வெப்பத் தம்பத்தின் உயரத்தையும் அளவிட வேண்டும். இவ் வுயரங்கள் முறையே h_1 h_2 என்போம். குளிர்த் தொட்டியின் வெப்பநிலையை $\theta_1{}^\circ C$ எனவும், சூடான தொட்டியின் வெப்பநிலையை $\theta_2{}^\circ C$ எனவும், அவ் வெப்பநிலைகளில் பாதரசத்தின் அடர்த்திகள் முறையே d_1, d_2 எனக் கொள்வோம். சரியீட்டுத் தம்பங்களின் அழுத்தங்கள் சமம் என்ற தத்துவப்படி,

$$h_1 \, d_1 \, g = h_2 \, d_2)g$$

(அல்லது)

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

ஆனால்,

$$d_2 = \frac{d_1}{1+\gamma_R \, (\theta_2 - \theta_1)}$$

$\frac{d_1}{d_2}$ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 1-இல் பதிலீடு செய்ய,

$$1 + \gamma_R(\theta_2 - \theta_1) = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\therefore \gamma_R = \frac{h_2 - h_1}{h_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

தொட்டிகளின் வெப்பநிலைகளும், சரியீட்டுத் தம்பங்களின் உயரங்களும் அளவிடப்பெறுதலால், பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண் கணக்கிடப்படுகிறது.

இம் முறையிலுள்ள குறைபாடுகள்: (1) *U*-வடிவக் கருவியின் இரு புயங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் அதிகமாதலால், $(h_2 - h_1)$இன் மதிப்பைத் துல்லியமாக அளவிட முடிவதில்லை.

(2) தொட்டிகளுக்கு வெளியே திரவத் தம்பங்கள் நீட்டிக் கொண்டு இருப்பதால், அப் பகுதிகளில் உள்ள திரவங்களின் வெப்பநிலைகள், தொட்டிகளின் வெப்பநிலைகளினின்றும் மாறுபட்டு இருக்கும்.

(3) இரு தம்பங்களும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ளன. எனவே, பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசையின் (surface tension) மதிப்பு இரு புயங்களிலும் மாறுபட்டு இருக்கும். எனவே, திரவ மட்டங்கள், சரியான நிலைகளில் இருந்து சற்று மாறுபட்ட நிலைகளில் இருக்கும்.

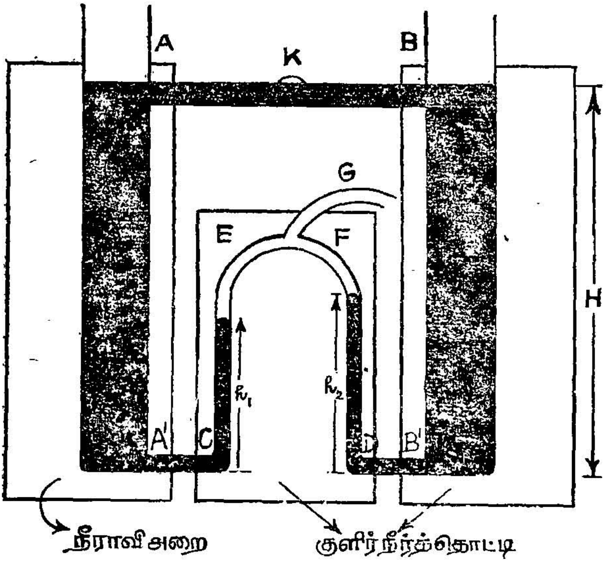
(4) சுடுதொட்டியின் வெப்பநிலையைச் சரியாக அளவிட இயலாது.

இக் குறைபாடுகளை ரெஞல்டு (Regnault) நீக்கி, சீர்திருத்தி அமைக்கப்பட்ட, தன் கருவியைப் பயன்படுத்தி, பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் கண்டறிந்தார்.

ரெஞல்டின் முறை: இவருடைய உபகரணத்தில், உயரமான அகன்ற இரு குழாய்கள் *A*, *B* அவைகளின் மேல் முனைகளுக்கு அருகில் ஒரு குறுகிய கிடைத்தள குழாயில் இணைக்கப்பட்டு உள்ளன.

குழாய்களின் கீழ் முனைகள் *CEFD* என்ற வளைந்த குழாயினுல் படத்தில் காட்டியவண்ணம் இணைக்கப்பட்டு உள்ளன. *CEFD* என்ற குழாய் ஓர் அழுத்தப் பம்புடன் *G* என்ற குழாய் மூலமாக இணைக்கப்படுகிறது. கிடைத்தள குழாயின் நடுவில் ஒரு சிறு துளை *K* உள்ளது. AA^1 என்ற குழாய் நீராவி உறையினுள்ளும்,

கருவியின் எஞ்சிய பகுதி தூயப் பனிக்கட்டியுடன் கலக்கப்பெற்ற குளிர்நீர் உறையினுள்ளும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இக் கருவியைத் திரவத்தால் நிரப்பியபின், அழுத்தும் பம்பினால் வேண்டிய அழுத்தத்தை உண்டாக்கி, *CEFD*-ன் மேற்பகுதியில் அழுத்தப் பட்ட காற்றும், மற்றப் பகுதிகளில் பாதரசமும் இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது.



படம் 70. பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண் — ரெனால்டு முறை

நீராவி உறைக்குள் நீராவியைச் செலுத்தித் திரவம் முழுப் பெருக்கம் அடையும்வரை காத்திருக்கவேண்டும். பெருக்கத் தினால் மிகுதிப்படும் திரவம்துளை K_2-யின் வழியே வெளியேறிவிடும்

AA^1 அல்லது BB^1 குழாயின் செங்குத்து உயரம் H என்க. *CE*-யிலும் *DF*-லும் முறையே பாதரசத் தம்பங்களின் உயரங்கள் h_1, h_2 என்போம். வளிமண்டல அழுத்தம் *P* எனவும், *CEFD*-ல் அழுத்தம் *E* எனவும் இருக்கட்டும். நீராவியின் வெப்பநிலை ($\theta°C$)யில் பாதரசத்தின் அடர்த்தி *d* ஆகவும், பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலையில் ($0°C$) பாதரசத்தின் அடர்த்தி d_0 ஆகவும் கொள்வோம். ஒரே கிடைத்தளத்தில் உள்ள A^1, *C* என்ற புள்ளி களில் அழுத்தங்கள் சமம்.

$$\therefore P + Hgd = E + h_1 gd_0$$

$$E - P = Hgd - h_1 gd_0 \quad \ldots (1)$$

ஒரே கிடைத்தளத்தில் உள்ள B', D என்ற புள்ளிகளில் அழுத்தங்கள் சமம்.

$$\therefore P + Hgd_0 = E + h_2 gd_0$$

$$E - P = Hgd_0 \ h_2 gd_0 \quad \ldots (2)$$

இரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட்டுப் பார்க்க.

$$Hgd - h_1 gd_0 = Hgd_0 - h_2 gd_0$$

$$\therefore d/d_0 = \frac{H + h_1 - h_2}{H}$$

ஆனால் $d = d_0 (1 - \gamma_R \theta)$

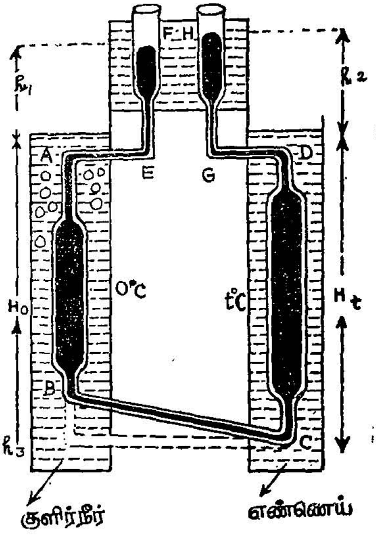
எனவே,

$$\frac{d_0 (1 - \gamma_R \theta)}{d_0} = \frac{H + h_1 - h_2}{H}$$

$$1 - \gamma_R \theta = \frac{H + h_1 - h_2}{H}$$

$$\gamma_R = \frac{h_2 - h_1}{H\theta}$$

ரெனால்டு, இப் பரிசோதனையின் மூலம் பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணின் மதிப்பினை 0·000182 எனக் கண்டறிந்தார்.



படம் 71. ரெனால்டின் திருத்தப்பட்ட கருவி

ரெனால்டு, தன் கருவியை மேலும் சீர்திருத்திப் படத்தில் காட்டியவாறு அமைத்தார். இவ் வமைப்பில் U-வடிவக் குழாயின் இரு புயங்களும் AB, CD எஃகினால் செய்யப் பட்டவை.

அவை கிட்டத்தட்ட 1·5 மீட்டர் நீளமுள்ளவை. இப் புயங்கள் ஒரு செ. மீ.

விட்டமுள்ள EF, GH என்ற அகன்ற கண்ணாடிக் குழாய்களுடன் AE, DG என்ற குறுகிய குழாய்கள் மூலமாக இணைக்கப் படுகின்றன. AB, CD என்ற குழாய்கள் அடிப்புறத்தில் BC என்ற குறுகிய இரும்புக் குழாய் வழியே இணைக்கப்படுகின்றன. இவ்வமைப்பினால் சுடுபுயமும், குளிர்புயமும் தனித்தனியே விரிவடையவும், சுருங்கவும் ஏதுவாகிறது. மேலும் AE, GD என்ற குழாய்கள் ஒரே கிடைத்தள மட்டத்தில் உள்ளன.

EF, GH என்ற குழாய்களில் பாதியளவு பாதரசம் இருக்குமாறு U-குழாயினுள் பாதரசம் ஊற்றப்பட்டு உள்ளது. AB என்ற புயமும் EF, GH என்ற குழாய்களும் தூய பனிக்கட்டித் துண்டுகளும், நீரும் உள்ள தொட்டியிலும் CD எனப்படும் புயம் உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள எண்ணெய்த் தொட்டியிலும் வைக்கப் பட்டு உள்ளன.

புயம் CDயின் வெப்பநிலையைத் தேவையான அளவு உயர்த்தினால் அப் புயம் பெருக்கமடைந்து BC-யைக் கிடைத்தளத்தில் இருந்து சற்றே சாய்ந்து இருக்குமாறு செய்யும். பெருக்கம் முற்றுப் பெற்றதும் AE, DG என்ற குழாய்களின் கிடைத்தள அச்சுக்குமேல் EF, GH குழாய்களில் உள்ள பாதரசக் கம்பங்களின் உயரங்களை h_1, h_2 என்று அளவிடுவதாகக் கொள்வோம். AB, CD என்ற புயங்களின் உயரங்கள் முறையே H_0, H_t என்க. B-க்கும், C-க்கும் இடையிலுள்ள உயர வேறுபாடு h_3 என்போம். இரு பாதரசக் கம்பங்களும் மேல் முனையில் வளிமண்டலத்துடன் தொடர்புடையனவாதலால், அத் தம்பங்களின் மேற்பரப்புகளில் அழுத்தங்கள் சமம், எனவே சமநிலைக்கு,

B-யில் பாதரசத் தம்பத்தினால் ஏற்படும் அழுத்தம் = Cயில் பாதரசத் தம்பத்தினால் ஏற்படும் அழுத்தம்.

$$h_1 \rho_0 g + H_0 \rho_0 g + h_3 \rho g = h_2 \rho_0 g + H_t \rho_t g$$

இச் சமன்பாட்டில் ρ_0, ρ_t என்பவை முறையே 0°C, t°C வெப்பநிலைகளில் பாதரசத்தின் அடர்த்தியாகும். BC என்ற குழாயிலுள்ள பாதரசத்தின் அடர்த்தியை ρ எனக் கொள்வோம்.

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1+\gamma_R t} = \rho = \frac{\rho_0}{1+\gamma_R t}$$

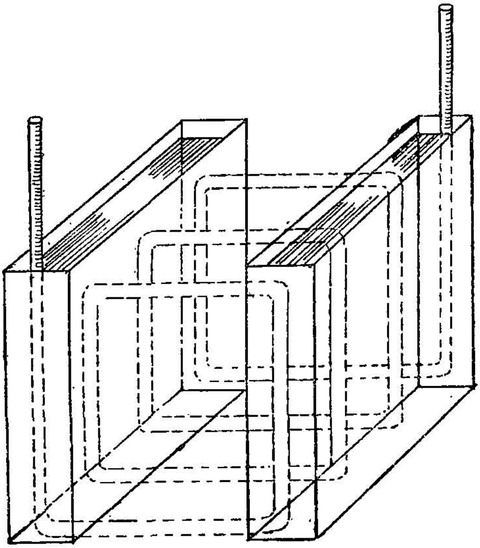
γ_R, பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணாகும். இவற்றைச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய,

$$h_1 \rho_0 g + {}_0 H \rho_0 g + h_3 \frac{\rho_0}{1+\gamma_R t} g = h_2 \rho_0 g + H_t \frac{\rho_0}{1+\gamma_R t} \cdot g$$

$$\therefore \quad h_1 + H_0 = \frac{h_3}{1 + \gamma_R t} = h_2 + \frac{H_t}{1 + \gamma_R t}$$

எனவே γ_R-ன் மதிப்பு எளிதில் கணக்கீடு செய்யப்படுகிறது. இம் முறையில் *EF*, *GH* என்ற குழாய்கள் அருகருகே வைக்கப்பட்டுள்ளதாலும், ஒரே வெப்பநிலையில் இருப்பதாலும் $(h_1 - h_2)$-ன் மதிப்பை நேரிடையாகத் தெரிந்து கொள்வதற்கும் பரப்பு இழுவிசையால் ஏற்படும் பிழையைத் தவிர்க்கவும் முடிகிறது. இம் முறையில் பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணின் மதிப்பு 0·00018157 எனக் கணக்கிடப்பட்டது.

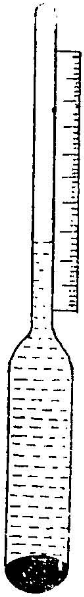
காலண்டர்–மாஸ் முறை (Callendar and Moss Method): ரெனால்டின் கருவியை மிகச் சிறப்பான முறையில் திருத்தி



படம் 72. காலண்டர் — மாஸ் கருவி

யமைத்துப் பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணை காலண்டர்—மாஸ் என்பவர்கள், மிகத் துல்லியமாகக் கண்டறிந்தனர். ரெனால்டைப் போலன்றி இவர்கள் 2 மீட்டர் உயரமும், 1 மி.மீ விட்டமும் உடைய எஃகுக் குழாய்களைப் பயன்படுத்தினர். குளிர்த் தம்பங்கள் அனைத்தும் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக ஒரே வரிசையிலும், சுடுத் தம்பங்கள் எல்லாம் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக மற்றொரு வரிசை

யிலும் அமையுமாறு ஆறு குளிர்த்தம்பங்களும், ஆறு சுடுத்தம்பங்களும் தொடரிணைப்பாக இணைக்கப்பட்டன. தூய பனிக்கட்டித் துண்டுகளும் நீருமுள்ள தொட்டியில் குளிர்த்தம்பங்களும், உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள எண்ணெய்த் தொட்டியில் சுடுத்தம்பங்களும் வைக்கப்படுகின்றன. தொட்டிகளில் வெப்பநிலை எங்கும் சீராக இருக்க, நன்கு கலக்குவதற்கு அமைப்புகள் பயன்படுத்தப் பெற்றன. மேலும் பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்தி வெபபநிலைகளைத் துல்லியமாக அளந்தனர். எண்ணெய்த் தொட்டி மின்சூடேற்றி மூலம் சூடேற்றப்படுகிறது. இவ்வமைப்பில் முதல் குளிர்த்தம்பத்துக்கும், இறுதிச் சுடுத் தம்பத்துக்கும் இடையேயுள்ள உயர வேறுபாடு ரெனல்டின் கருவியைப் போலன்றி ஒரு இரட்டைத் தம்பங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டைப் போல் ஆறு மடங்கு இருக்கும்.


படம் 73.

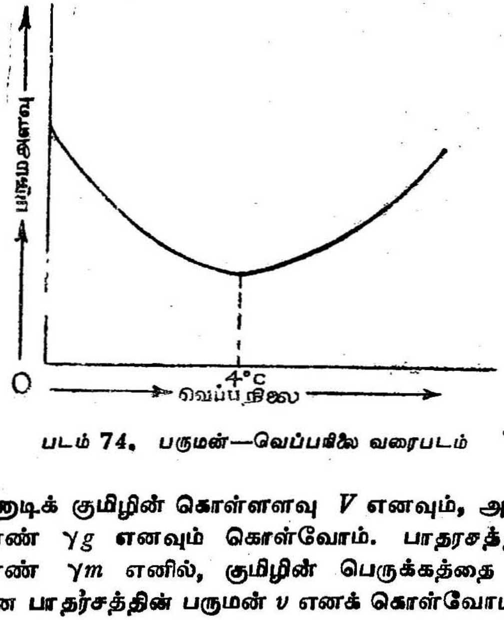
பாதரசத்தின் தனிப்பெருக்க எண்ணின் மதிப்பு 0·000182 என இம் முறையில் கணக்கிடப்பட்டது.

நீரின் சீரற்ற பெருக்கம் (Anomalous Expansion of Water): $0°C$ வெப்பநிலையில் இருந்து $4°C$ வரை வெப்பநிலை உயரும் பொழுது, அதன் பருமன் குறைகிறது. 4°C வெப்பநிலைக்கு மேல் நீர் சூடேற்றப்பட்டால், வெப்பநிலை உயர்வுக்கு ஏற்ப அதன் பருமனும் விரிவெய்துகிறது. ஆகவே குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய நீர் $4°C$ வெப்பநிலையில் சிறுமப் பருமனையும், பெரும அடர்த்தியையும் உடையதாய் இருக்கின்றது. இந் நிகழ்ச்சியையே நீரின் பொதுநிலை பிறழ்ந்த விரிவு (அல்லது) சீரற்ற பெருக்கம் என்றழைக்கிறோம்.

கொடுக்கப்பட்ட நிறையுடைய நீரின் பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாட்டை அளவீடுகள் குறிக்கப்பெற்ற நீளமான நுண் குழாயுடன் கூடிய குமிழைப் பயன்படுத்தி அளவிடலாம். கண்ணாடியின் பெருக்கத்தை ஈடுசெய்ய குமிழினுள், அக் குமிழின் பருமனில் 7-ல் 1 பங்கு அளவுள்ள பாதரசம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. நுண் குழாயினுள் குறிப்பிட்ட அளவீடுவரை நிற்குமாறு தூய நீர்க் குமிழினுள் நிரப்பப்பட்டு இருக்கும். இம் முறையில் நாம் கணக்கிடு

கின்ற பருமமாறுபாடு குமிழில் அடங்கியுள்ள நீரின் பருமனில் உண்மையாக ஏற்படும் விரிவு ஆகும்.

இக் கருவி ஒரு நீர்த்தொட்டியினுள் வைக்கப்படுகிறது. நீர்த் தொட்டியின் வெப்பநிலையை $0 \cdot 1°C$ துல்லியமாக அளக்கும் வெப்ப நிலைமானியைக் கொண்டு அளவிடவேண்டும். நீர்த்தொட்டியில் சிறிது சிறிதாகப் பனிக்கட்டியைச் சேர்ப்பதன் மூலம், தொட்டியின் வெப்பநிலையை $0°C$ வரை குறைக்க இயலும். பல்வேறு வெப்ப நிலைகளில் நீரின் பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாடு நேரிடையாக அளக்கப்பெறுகிறது. X அச்சில் வெப்பநிலையையும், Y அச்சில் நீரின் பருமனையும் கொண்டு வரையப்பட்ட ஒரு வரைபடம், $4°C$ வெப்பநிலையில் நீர் சிறுமப் பருமனை உடையது என்பதைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.



படம் 74. பருமன்—வெப்பநிலை வரைபடம்

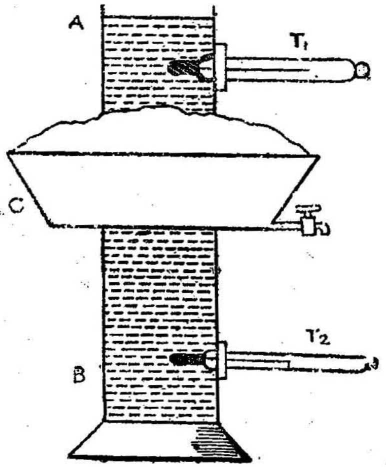
கண்ணாடிக் குமிழின் கொள்ளளவு V எனவும், அதன் பருமப் பெருக்க எண் γg எனவும் கொள்வோம். பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண் γm எனில், குமிழின் பெருக்கத்தை ஈடுசெய்ய தேவையான பாதரசத்தின் பருமன் v எனக் கொள்வோமாயின் $°C$ வெப்பநிலை உயர்விற்கு,

$$V \gamma g\, t = v.\gamma m.t$$

$$\frac{v}{V} = \frac{\gamma g}{\gamma m} = \frac{0 \cdot 000026}{0 \cdot 000187} = 1/7.$$

எனவே குமிழின் கொள்ளளவில் 1/7 பங்கு பருமனுள்ள பாதரசம் குமிழினுள் எடுத்துக்கொள்ளப்படவேண்டும்.

ஹோப் கருவி (Hope's Apparatus): $4°C$ வெப்பநிலையில் நீர்ப் பெரும அடர்த்தியை உடையதாக இருக்கிறது என்னும் உண்மையை ஹோப் என்பார் பரிசோதனை மூலம் காட்டினார். நீர் நிரப்பப்பட்ட ஓர் உயரமான சிலிண்டர் வடிவ உலோகப் பாத்திரத்தின் நடுப்பாகத்தில், அதைச் சுற்றி, உறை கலவை வைக்கப்பட்டு உள்ள மற்றொரு சிலிண்டர் வடிவ பாத்திரம் படத்தில் காட்டியவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. சிலிண்டரின் மேற்புறத்திலும், அடியிலும் இரு வெப்பநிலைமானிகள் T_1, T_2 செருகப்பட்டு உள்ளன. உறை கலவையின் வெப்பநிலையினால் உயரமான சிலிண்டர் வடிவப் பாத்திரத்தின் நடுவிலுள்ள நீரின் வெப்பநிலை வெகு விரைவாகக் குறைகிறது. நீரின் வெப்பநிலையை



படம் 75. ஹோப் கருவி

$4°C$ அடையும்பொழுது, அதன் அடர்த்தி பெரும மதிப்பு உடையதாதலால், நீரின் மூலக்கூறுகள் பாத்திரத்தின் அடிப் புறத்தை நோக்கி விரைகின்றன. எனவே T_2 என்ற வெப்பநிலை மானியில், பாதரசமட்டம் விரைவில் கீழிறங்கும். $4°C$-யை அடைந்தவுடன் இவ் வெப்பநிலைமானியில் பாதரசமட்டம் நிலையாக நிற்கும். பாத்திரத்தின் நடுவில் உள்ள நீரின் வெப்பநிலைக்கும் $4°C$ கீழே குறையும்பொழுது, நீரின் அடர்த்திக் குறைகிறது. எனவே, நீரின் மூலக்கூறுகள் பாத்திரத்தின் மேற்பகுதியை நோக்கிச் செல்கின்றன. T_1 என்ற வெப்பநிலைமானியில் பாதரச மட்டம், $4°C$-க்குக் குறைந்து, அதனினும் தாழ்வுற்று $0°C$யை அடையும்.

நீரின் முரண்பட்ட பெருக்கத்தினுல் சில நன்மைகள் ஏற்படுகின்றன. குளிர்மிகுந்த நாடுகளில், குளிர்காலத்தில் வெப்பநிலை $0°C$-யைவிடக் குறையும்பொழுது நீர்நிலைகளின் மேற்பரப்புப் பனிக்கட்டியாக மாறினுலும், நீர்நிலைகளின் அடியில் $4°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள பெரும அடர்த்தியைக் கொண்ட நீர் இருந்து, நீர்வாழ் உயிரினங்களின் வாழ்வுக்கு உறுதுணை செய்கிறது.

பாரமானியின் அளவீட்டில் செய்யப்படவேண்டிய திருத்தம்: வளி அழுத்தத்தைப் பாரமானியின் பாதரசத்தம்ப உயரத்தால் குறிப்பது வழக்கம். ஆனுல் உண்மையில், பாதரசத்தம்ப உயரம், அதன் அடர்த்தி, ஈர்ப்புமுடுக்கம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனே அழுத்தத்தின் மதிப்பாகும். வெப்பநிலை மாறுபாடு அடையும் பொழுது, பாரமானியின் அளவுகோல் பெருக்கமடைவதோடு அன்றி பாதரசத்தின் பருமனிலும் பெருக்கம் ஏற்படுவதால், நாம் கணக்கிடும் அளவீடு பிழையுடையதாக இருக்கும். எனவே உண்மையான, அளவீட்டைக்காண கீழ்க்கண்ட திருத்தங்களைச் செய்தல் மிக இன்றியமையாதது. பொதுவாகப் பாரமானித் திரவத்தின் அடர்த்தி, அதன் $0°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள அடர்த்தியைப் பெற்று இருந்தால், பாதரசத் தம்பத்தின் உயரம் என்னவாக இருந்திருக்குமோ அதையே குறிப்பிடவேண்டும்.

பாரமானியில் உள்ள பித்தளைக் குழாயினுள் உள்ள அளவீடுகள் $0°C$ வெப்பநிலைகள் குறிக்கப்பெற்றவை. வெப்பநிலை $t°C$ உயருங்கால், பித்தளை அளவுகோலின் ஒவ்வொரு சென்டிமீட்டரும் $(1 + \lambda t)$ ஆக விரிவடையும். λ என்பது பித்தளையின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணுகும். எனவே $t°C$ வெப்பநிலையில் l செ.மீ. என நாம் அளவிட்டால், அது $l\ (1 + \lambda t)$ சென்டிமீட்டருக்குச் சமம். ஆகையால் $t°C$ வெப்பநிலையில் H செ.மீ. என நாம் அளவிடுவது உண்மையில் $H\,(1 + \lambda t)$ ஆகும்.

பாதரசத்தின் பரும விரிவு, அதன் அடர்த்தியில் மாறுபாட்டை விளைவிக்கும். எனவே பாரமானியில், பாதரசத்தம்ப உயரம், வெப்பநிலையோடு மாறுபடும் தன்மையது. $0°C$ வெப்பநிலையில் பாதரசத்தம்ப உயரம் H_0 என்க, பாதரசத்தின் அடர்த்தி $0°C$ வெப்பநிலையில் P_0 எனவும், $t°C$ வெப்பநிலையில் P எனவும் கொள்வோம். பாதரசத்தின் பரும விரிவெண்ணை γ எனக் குறிப்போமாயின்,

$$, \quad H_0\, \rho_0\, g = (1 + \lambda t)\rho g$$

ஆனால் $\rho = \dfrac{\rho_0}{1 = \gamma t}$

எனவே $H_0\, \rho_0\, g = H(1 + \lambda t)\,\dfrac{\rho_0}{1 + \gamma t}\, g.$

அல்லது $H_0 = H(1 + \lambda t)\,(1 + \gamma t)$

$$H_0 = H[1 - t(\gamma - \lambda)]$$

இதுவே $0°C$ வெப்பநிலைக்குத் திருத்தப்பட்ட பாரமானி உயரமாகும்.

4. வாயுக்களின் பெருக்கம்

(Expansion of Gases)

ஒரு வாயுவின் பருமன், அதன் வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகிய இரண்டையுமே பொருத்தது. இவ்விரண்டில் எது வேறுபட்டாலும், வாயுவின் பருமன் மாறுபாடு எய்தும். எனவே எந்த வாயுவுக்கும் மாறாத அழுத்தத்தில் பருமப் பெருக்க எண் (Volume Coefficient at Constant Pressure), மாறாதப் பருமனில் அழுத்தப்பெருக்க எண் (Pressure Coefficient at Constant Volume) என இரண்டு பெருக்க எண்கள் உண்டு. அழுத்தம் மாறாது இருக்கும்பொழுது ஒரு வாயுவின் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கம் அவ் வாயு வைக்கப்பட்டுள்ள கலத்தின் பெருக்கத்தைவிட பன்மடங்கு அதிகம்; ஆதலால் கலத்தின் பரும விரிவு புறக்கணிக்கத்தக்கதாகும்.

$0°C$ வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு வாயுவின் பருமனுக்கும் அவ் வாயுவின் வெப்பநிலை $1°C$ உயர்வடையும்பொழுது, அழுத்தம் மாறாது இருக்குங்காலை, அதன் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கத்திற்கும் உள்ள தகவு அவ் வாயுவின் மாறாத அழுத்தத்தில் பருமப் பெருக்க எண் γ_V எனப்படும்.

அழுத்தம் மாறாதிருக்கும்பொழுது குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலைகள் $0°C, \theta°C$ என இருக்குங்கால் அவ் வாயுவின் பருமன்கள் முறையே V_0, V எனக் கொள்வோமேயாயின்,

$$\gamma_V = \frac{V - V_0}{V_0 \times \theta}$$

$$\therefore V = V_0 (1 + \gamma_V \theta)$$

$0°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்திற்கும், அவ் வாயுவின் வெப்பநிலை $1°C$ உயர்வடையும்பொழுது பருமன் மாரு திருக்குங்காலே, அதன் அழுத்தத்தில் ஏற்படும் பெருக்கத்திற்கும், உள்ள தகவு அவ் வாயுவின் மாருப் பருமனில் அழுத்தப் பெருக்க எண் γ_P எனப்படும்.

குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலை $\theta°C$ எனும் பொழுது அதன் அழுத்தம் P எனவும், அந்த வாயுவின் அழுத்தம் $0°C$ வெப்பநிலையில் P_0 எனவும் கொள்வோமேயானுல் வெப்பநிலை மாறுதலடைந்தாலும் வாயுவின் பருமன் மாறுவதில்லை என்பதைக் கருத்திற்கொண்டு,

$$\gamma_P = \frac{P - P_0}{P_0\,\theta}$$

$$\therefore P = P_0\,(1 + \gamma_P\theta)$$

எல்லா வெப்பநிலைகளிலும் பாயிலின் விதிக்கு உட்பட்டு இருக்கும் வாயுகளுக்கு இலட்சிய வாயுக்கள் (Ideal Gases) என்று பெயர். இயற்கையில் இலட்சிய வாயு எதுவுமில்லை. இருப்பினும் நிரந்தர வாயுகள் ஓரளவு இலட்சிய வாயுக்களைப்போல செயல்படுகின்றன.

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுடைய இலட்சிய வாயுவின் பருமனும், அழுத்தமும் $0°C$ வெப்பநிலையில் முறையே P_0, V_0 என இருக்கட்டும். வாயுவின் வெப்பநிலை $\theta°C$க்கு உயர்வடையும்பொழுது அழுத்தம் P_0 மாறுவதில்லை எனவும், பருமன் மட்டும் V ஆக உயர்வதாகவும் கொள்வோம்.

$$\text{எனவே } V = V_0\,(1 + \gamma_V\,\theta)$$

அதே நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலை, மாருதப் பருமனில் (V_0) $\theta°C$ வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தப்பட்டும். அவ் வாயுவின் அழுத்தம் P என உயருவதாகக் கொள்வோம்.

$$\therefore P = P_0\,(1 + \gamma_P\,\theta)$$

பாயிலின் விதிப்படி வெப்பநிலை மாருதிருக்கும்பொழுது குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவின் பருமன், அழுத்தம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் ஒரு மாருத எண்ணுகும்.

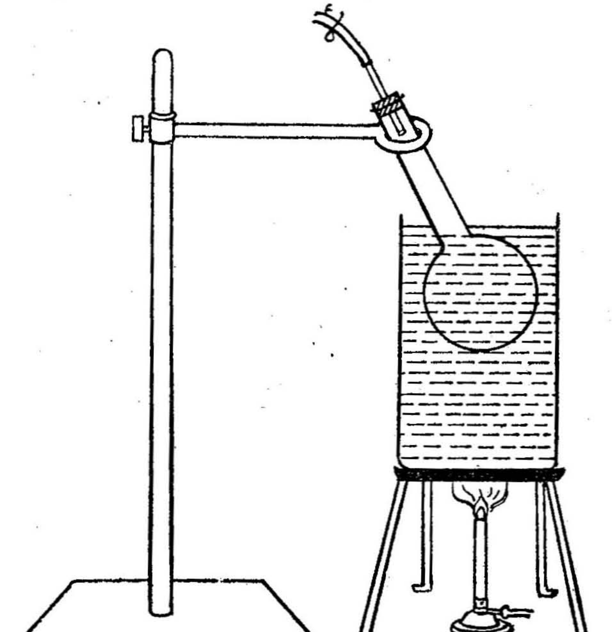
$$\therefore P_0\,V = P\,V_0$$

$$(\text{அல்லது } P_0 V_0 (1 + \gamma_V \theta) = P_0 (1 + \gamma_P \theta) V_0$$

$$\text{எனவே } \gamma_V = \gamma_P$$

அதாவது பாயிலின் விதிக்கு உடன்பாட்டொழுகும் எல்லா வாயுகளின் அழுத்தப்பெருக்க எண்ணும் (γ_P) பருமப் பெருக்க எண்ணும் (γ_V) சமமதிப்பை உடையன.]

ஒரு வாயுவின் பருமப்பெருக்க எண்ணைக் காணல்: சுமார் 500 க.செ.மீ. கொள்ளளவு உடைய தூய, ஈரமற்ற காலியான கண்ணாடிக் குடுவை, ஒரு துவாரம் உள்ள இரப்பர் அடைப்பானுல்



படம் 76. வாயுவின் பருமப்பெருக்க எண் காணல்

மூடப்படுகிறது. துளையின் வழியே ஒரு சிறிய கண்ணாடிக்குழாய் செருகப்பட்டுள்ளது. இக் குழாயுடன் ஒரு தடித்த இரப்பர் குழாய் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் குழாயின் வழியாகக் காற்று உட்புகா வண்ணம் இருப்பதற்கு ஓர் அடைப்பான் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

குடுவையை, கொதிநீருள்ள தொட்டியில், கழுத்துவரை மூழ்கியிருக்குமாறு நீண்டநேரம் வைத்திருக்கவேண்டும். குடுவையி

லுள்ள காற்றின் பருமப்பெருக்கம் முடிவடைந்த பின்னர், கொதிநீரின் வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொண்டு, இரப்பர் குழாயை இறுக்கமாக மூடிவிட வேண்டும். இப்பொழுது குடுவை முழுவதும் வளிமண்டல அழுத்தத்தில், $t_2°C$ வெப்பநிலையில் காற்று அடைத்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. குடுவையை வெளியில் எடுத்துக் குளிர்ந்த நீருள்ள பாத்திரத்தில், குடுவையின் வாய் இருக்குமாறு வைத்து, குடுவையைத் தலைகீழாகத் திருப்பி வைக்க வேண்டும். குடுவையில் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலை சுருங்குவதால் அதன் பருமன் சுருங்குகிறது. இப்பொழுது இரப்பர் குழாயைத் திறந்தால், சிறிதளவு நீர்க் குடுவையினுள் விரையும். குடுவையில் உள்ள காற்றுக் குளிர்நீரின் வெப்பநிலையை அடைந்த பின்னர், குடுவையைச் சரி செய்து குடுவையினுள் நீர்மட்டமும், குடுவையின் வெளியிலுள்ள நீர்மட்டமும் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்குமாறு சரிசெய்தல் வேண்டும். இதனால் குடுவையினுள் அடைபட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தமும், வளிமண்டல அழுத்தமும் சமம் என்று அறிந்து கொள்ளலாம். இரப்பர் குழாயை நன்கு மூடி குடுவையை வெளியில் எடுத்து, அதனுள் உள்ள நீரின் பருமனை அளவிட வேண்டும். அதை Vcc என்போம். குளிர்நீரின் வெப்பநிலையை $t°c$ எனக் கொள்வோம். குடுவையின் கொள்ளளவு Vcc என்க.

$t_1°C$ வெப்பநிலையில் வளிமண்டல அழுத்தத்தில் குடுவையில் உள்ள காற்றின் பருமன் $= V - v$

$t_1°C$ வெப்ப நிலையில் அதே வளிமண்டல அழுத்தத்தில் குடுவையினுள் அடைபட்டுள்ள காற்றின் பருமன் $= V$

இதே நிறையுள்ள காற்றின் பருமன் $0°C$ வெப்ப நிலையில் அதே வளிமண்டல அழுத்தத்தில் $= V_0$ என இருக்கட்டும்.

எனவே,

$$V - v = V_0 (1 + \gamma_V t_1) \quad \dots (1)$$

$$V = V_0 (1 + \gamma_V t_2) \quad \dots (2)$$

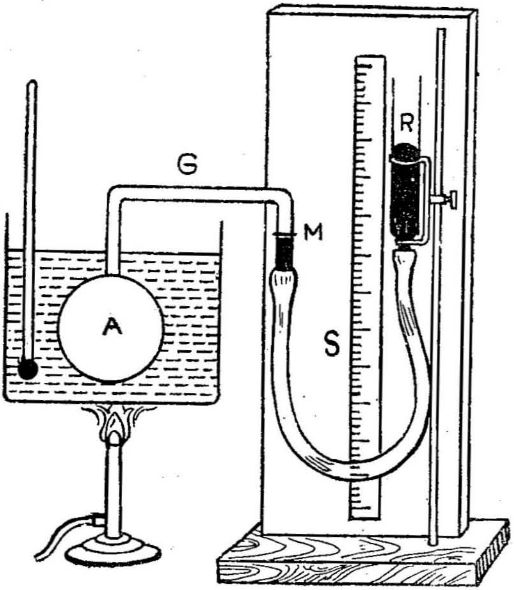
இரு சமன்பாடுகளை வகுக்க,

$$\frac{V - v}{V} = \frac{1 + \gamma_V t_1}{1 + \gamma_V t_2}$$

$$\therefore \gamma_V = \frac{v}{(V - v) t_2 - Vt}$$

இப் பரிசோதனை வாயிலாகக் காற்றின் பரும விரிவெண்ணின் (γ_V) மதிப்பு 1/273 (அல்லது) 0·00366 எனக் கணக்கிட்டறியப் பட்டது.

ஒரு வாயுவின் அழுத்த விரிவெண்ணைக் கணக்கிடுதல்: பரிசோதனைக் கூடங்களில் காற்றின் அழுத்த விரிவெண்ணைக்



படம் 77. வாயுவின் அழுத்த விரிவெண் காணல்—ஜாலியின் கருவி

கணக்கிட ஜாலியின் (Jolly) உபகரணம் உதவுகின்றது. ஒரு குடுவை, இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பினை உடைய குழாய் ஒன்றுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இக் குழாயின்மேல் M என்ற குறியீடு பொறிக்கப்பட்டு உள்ளது. தடித்த இரப்பர் குழாய் வழியாக ஒரு பாதரச சேமக்கலத்துடன் இக் குழாய் இணைக்கப்பட்டு உள்ளது. குடுவையில் காற்று அடைப்படும்படியாகப் பாதரசம் சேமக்கலத்தினுள் ஊற்றி வைக்கப்பட்டுள்ளது. பாதரச மட்டங்களை அளக்க ஒரு மீட்டர் அளவு கோல் உபகரணத்துடன் பொருத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஒவ்வொரு முறையும் குடுவையில் அடைபட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு முன்னர் குழாயில் பாதரசமட்டம் M என்ற

எறியீட்டில் பொருத்தி இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். இதனல், பரிசோதனையில், குடுவையில் அடைக்கப்பட்டுள்ள காற்றின் பருமன், வெப்பநிலை மாறுபடினும், மாருத ஒன்ருகவே இருக்கும்.

தூய, உருகுகின்ற பனிக்கட்டித் துண்டுகள் நிறைந்த பாத்திரத்தினுள் குடுவையை மூழ்கியிருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். சேமக் கலத்தை மேலும், கீழும் நகர்த்தி, பாதரசமட்டம் குழாயினுள் M என்ற குறியீட்டுடன் இணையுமாறு செய்தல்வேண்டும். R-ல் உள்ள பாதரசமட்டத்திற்கும், M என்ற குறியீட்டுக்கும் இடையிலுள்ள உயர வேறுபாட்டை h என அளப்போம். வளிமண்டல அழுத்தம் H எனில் R-ல் உள்ள பாதரசமட்டம் M என்ற குறியீட்டுக்கு மேலே உள்ளதா அல்லது கீழே உள்ளதா என்பதைப் பொருத்து, குடுவையில் அடைப்பட்டு உள்ளகாற்றினழுத்தம் $H \pm h$ ஆகும். இவ்வாறு வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் அடைபட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தங்களைக் கணக்கிடுதல் வேண்டும்.

$0°C$ வெப்பநிலையிலும் $t°C$ வெப்பநிலையிலும் அடைப்பட்டுள்ள காற்றின் அழுத்தங்கள் முறையே P_0, Pt என அளக்கப்பெற்ருல்,

$$Pt = P_0 (1 + \gamma_P t)$$

$$\text{எனவே } \gamma_P = \frac{Pt - P_0}{P_0 t}$$

பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையில் காற்றின் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுவதில்லை என்றும், தெரிந்த வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் மட்டுமே காற்றின் அழுத்தங்களை ஜாலியின் உபகரணத்தின் உதவியால் கண்டறிவதாகக் கொள்வோம். P_1, P_2 என்பவை, $t_1°C$, $t_2°C$ வெப்பநிலைகளில் அழுத்தங்கள் என நாம் கொள்வோமேயாயின்,

$$P_1 = P_0 (1 + \gamma_P t_1)$$

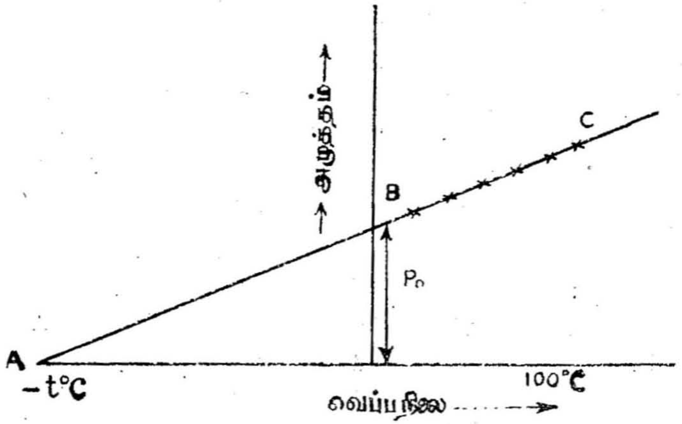
$$P_2 = P_0 (1 + \gamma_P t_2)$$

$$\text{(அல்லது)} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \gamma_P t_1}{1 + \gamma_P t_2}$$

$$\text{எனவே } \gamma_P = \frac{P_2 - P_1}{P_1 t_2 - P_2 t_1}$$

இச் சமன்பாட்டில் இருந்து காற்றின் அழுத்த விரிவெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

வெப்பநிலையை X அச்சிலும், அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் நமக்கு ஒரு நேர்கோட்டு வரைபடம் கிடைக்கும். இது அழுத்தம் வெப்பநிலையோடு நேர் விகிதத்தில் மாறுதல் எய்துகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. நேர்க் கோட்டை நீட்டினுல் அது X அச்சை $-t°C$ வெப்பநிலைகளுக்கான புள்ளியில் சந்திக்கிறது. எனவே $-t°C$ வெப்பநிலையில் பருமன் மாருநிலையில் காற்றின் அழுத்தம் சுழியாகும்.



படம் 78. அழுத்தம்—வெப்பநிலை வரைபடம்

வரைபடத்தில் $0°C$ வெப்ப நிலையில் காற்றின் அழுத்தம் P_0 என்போம். வெப்பநிலை $0°C$ யிலிருந்து $-t°C$க்குக் குறைவடையும் பொழுது, அழுத்தம் சுழிமதிப்பை அடைகிறது. எனவே,

$$\gamma_P = \frac{0 - P_0}{P_0 \times -t}$$

$$= \frac{P_0}{P_0 t} = \frac{1}{t}$$

பரிசோதனை மூலமாக, $-t$யின் மதிப்பு $-73°C$ எனக் கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது.

$$\therefore \gamma_P = \frac{1}{t} = \frac{1}{273}$$

குடுவையில் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலையும், குழாயில் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலையும், பரிசோதனையின் பொழுது ஒன்ருகவே இராது. இப்பரிசோதனையின் குறைகளுள் ஒன்று; மேலும் வெப்ப

உயர்வால் குடுவையும் பருமவிரிவு எய்துதலால், அதில் அடைக்கப் பட்டுள்ள காற்றின் பருமன் மாருதது என்னும் நம் கொள்கைப்பாடு தவருனதாகும்.

ரெனுல்டு, தன்னுடைய ஆராய்வுகளின் மூலமாக, அழுத்தம் மாருநிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையுடைய எந்த ஒரு வாயுவின் வெப்ப நிலையும் $1°C$ உயரும்பொழுது அதன் பருமனில், அவ் வாயு $0°C$ வெப்பநிலையில் உடையதாயிருக்கும் பருமனில் 1/273 மடங்கு விரிவடையும் என்றும், மாருத பருமனை உடைய குறிப்பிட்ட நிறையுடைய எந்த ஒரு வாயுவின் வெப்பநிலையும் $1°C$ உயர்வடையும் பொழுது அதன் அழுத்தத்தில் அவ் வாயு $0°C$ வெப்ப நிலையில் கொண்டிருக்கும் அழுத்தத்தில் 1/273 மடங்கு பெருகும் என்று நிரூபித்தார். அதாவது எல்லா வாயுகளுக்கும் பரும பெருக்க எண்கள், அழுத்தப் பெருக்க எண்கள் சமமதிப்பு உடையவை. அம் மதிப்பு 1/273 (அல்லது) 0·00367 என்பதாம்.

$$\gamma_P = \gamma v = 1/273 \quad \text{(எல்லா வாயுக்களுக்கும்)}$$

அழுத்தம் மாருத நிலையில், $\theta°C$ வெப்பநிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமனைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கிருேம்.

$$v = v_0\,(1 + \gamma v\,\theta)$$

ஆனல் γv யின் மதிப்பு 1/273 என நாமறிவோமாதலால்,

$$v = v_0\,[1 + 1/273\ \theta]$$

$$= v_0\left[\frac{273 + \theta}{273}\right]$$

θ-வின் மதிப்பு $-273°C$ எனில் பருமன் v யின் மதிப்புச் சுழியாகின்றது. எனவே $-273°C$ வெப்பநிலையில், அழுத்தம் மாருது இருந்தால் இலட்சிய வாயு ஒன்றின் பருமன் சுழியாகும். வெப்ப நிலை இதைவிடக் குறையுமாயின், அழுத்தம் மாருநிலையில் பருமன் எதிர்குறி உடையதாக வேண்டும். இது முடியாததால் $-273°C$தான் ஒரு வாயுவால் அடைய இயலும் குறைந்தபட்ச வெப்பநிலையாகும்.

இதுபோலவே பருமன்மாருது இருக்கும்பொழுது, $\theta°C$ வெப்ப நிலையில் ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்தைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கிருேம்;

$$P = P_0\ (1 + \gamma_P\,\theta)$$
$$= P_0\ [1 + 1/273\ \theta]$$

$$= P_0 \left[\frac{273 + \theta}{273}\right]$$

θ—வின் மதிப்பு—273°*C* எனில், மாருப்பருமனே உடைய வாயுவின் அழுத்தம் சுழியாகிறது. இதைவிட வெப்பநிலை தாழ்வு படுங்காலே, பருமன் மாரு நிலையில் வாயுவின் அழுத்தம் எதிர்க் குறியை உடையதாகவேண்டும். இது இயலாதாகையால் வெப்ப நிலை —273°*C*யை விடக் குறைதல் முடியாது.

எனவே —273°*C* வெப்பநிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமனும், அழுத்தமும் சுழியாகின்றன. இவ் வெப்பநிலைதான் ஒரு வாயு அடையக்கூடிய கீழ்வரம்பு வெப்பநிலையாகும். இந்த வெப்ப நிலையை வெப்பநிலை அளவீட்டின் தனிச்சுழி (Absolute Zero) என்று குறிப்பிடுகின்ருேம்.

இந்தத் தனிச்சுழியைத் தொடக்கமாகக்கொண்டு ஒரு வெப்ப நிலை அளவீட்டுமுறை உள்ளது. இம் முறையிலும் ஒரு டிகிரியின் மதிப்பு, சென்டிகிரேடு அளவீட்டு முறையிலுள்ள ஒரு டிகிரியின் மதிப்புக்குச் சமம் எனவே θ°*C* என்பது இவ் வெப்பநிலை அள வீட்டில் (273 + θ) என்ற மதிப்பை உடையது. இதை *T*° *A* எனக் குறிப்போம். இந்த அளவீட்டு முறையைத் தனி வெப்பநிலை அள வீட்டு முறை (Absolute Scale of Temperature) என்கிருேம்.

சார்லஸின் விதி (Charles' Law): குறிப்பிட்ட நிறையுடைய ஒரு வாயுவின் வெப்பநிலை θ°*C* என்று இருக்கும்பொழுது, அதன் பருமன் *v*,

$$v = v_0 (1 + \gamma_v \theta)$$

$$v = v_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) = v_0\left(\frac{273 + \theta}{273}\right)$$

$$= \frac{v_0 T}{273}$$

T என்பது தனி வெப்பநிலை அளவீட்டில் வாயுவின் வெப்ப நிலையாகும். அழுத்தம் மாரு நிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் பருமன் 0°*C* வெப்பநிலையில் மாருத மதிப்பை உடையது.

$$\therefore \quad v \propto T$$

அதாவது குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் பருமன், அழுத்தம் மாருநிலையில் அதன் தனி வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதத்

தில் இருக்கும். இதுபோலவே, பருமன் மாருதிருக்கும் பொழுது, வாயுவின் அழுத்தம் P, $\theta°C$ வெப்பநிலையில்,

$$P = P_0 (1 + \gamma_P \theta)$$

$$P = P_0 (1 + \theta/273)$$

$$= P_0 \left(\frac{273 + \theta}{273}\right)$$

$$P = \frac{P_0 T}{273}$$

$$\therefore P \propto T$$

குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் மாரு நிலையில் அதன் தனி வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இவ்விரு முடிபுகளையும் சார்லஸின் விதி என்றழைக்கிறோம்.

இலட்சிய வாயுச் சமன்பாடு (Perfect Gas Equation): ஓர் இலட்சிய வாயுவைப் பொறுத்தவரை, அதன் ஒழுகலாற்றைக் குறிக்கும் விதிகள் மூன்று. அவைகளாவன:

(1) வெப்பநிலை மாருநிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையுடைய ஒரு வாயுவின் பருமன் அதன் அழுத்தத்துடன் எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும். இதைப் பாயிலின் விதி என்றழைக்கிறோம்.

(2) அழுத்தம் மாருநிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய ஒரு வாயுவின் பருமன் அதன் தனி வெப்பநிலையுடன் நேர்விகிதத்தி லிருக்கும்.

(3) பருமன் மாருநிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் அதன் தனி வெப்பநிலையுடன் நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவின் தொடக்க அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவை முறையே P_1, v_1, $T_1°A$ எனவும், அவை P_2, v_2, $T_2°A$ என மாறுபாடு அடைவதாகவும் கொள்வோம்.

முதலில் வெப்பநிலை $(T_1° A)$ மாருது உள்ளதெனவும் அழுத்தம் மட்டும் P_1-லிருந்து P_2 ஆக மாறுகிறதெனவும், கொள் வோம். இம் மாற்றத்தால் பருமன் v என்பதாகக் கொண்டால், பாயிலின் விதிப்படி,

$$P_1 v_1 = P_2 v$$

$$(\text{அல்லது})\ v = \frac{P_1 v_1}{P_2} \qquad \dots (1)$$

இனி வெப்பநிலைமட்டும் $T_1°\ A$ என்பதிலிருந்து $T_2°\ A$ ஆக மாறுவதாகவும், அழுத்தம் P_2 மாருதது எனவும் கொள்வோம். இறுதி பருமன் v_2 எனில், சார்லஸ் விதிப்படி,

$$\frac{v}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

$$(\text{அல்லது})\ v_2 = \frac{vT_2}{T_1} \qquad \dots (2)$$

v-ன் மதிப்பை முதற் சமன்பாட்டில் இருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$v_2 = \frac{P_1 v_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{எனவே}\quad \frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2}$$

$$\text{பொதுவாக}\quad \frac{Pv}{T} = \text{மாருத எண்} = R.$$

$$\therefore\quad Pv = RT.$$

இச் சமன்பாட்டை இலட்சிய வாயுச் சமன்பாடு என்றழைக்கிரும். இச் சமன்பாட்டிலுள்ள மாருத எண் (R) வாயுமாறிலி என்று அழைக்கப்படுகிறது. இதன் மதிப்பு, ஒவ்வொரு வாயுவுக்கும், அதன் நிறையையும், தன்மையையும் பொறுத்து மாறுபடும். ஒரு கிராம் வாயுவிற்கு R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால், அது ஒவ்வொரு வாயுவிற்கும், ஒவ்வொரு மதிப்பை உடையதாக இருக்கும். இந்த மதிப்பை எர்க்/டிகிரி/கிராம் (Erg/Degree/Gram) என்ற அலகால் குறிக்கின்ருேம். ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நிறையுள்ள எந்த வாயுவும் படித்தர வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் (Normal Temperature And Pressure) ஒரே பருமனைக் கொண்டிருத்தலால், ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நிறையுள்ள ஒரு வாயுவிற்கு R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால் அம் மதிப்பு எல்லா வாயுக்களுக்கும் ஒன்ருகவே இருக்கும். இம் மதிப்புப் பொது வாயு மாறிலி (Universal Gas Constant) எனப்படும்.

பொது வாயு மாறிலி: படித்தர வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நிறையுள்ள ஒரு வாயுவின் பருமன்

Vm எனக் கொள்வோம். அதன் வாயு மாறிலி Ru என்க. இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டின்படி,

$$PVm = RuT$$

அதாவது, $(76 \times 13{\cdot}6 \times 980)\ 22{,}400 = Ru \times 273$

$$Ru = \frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \times 22{,}400}{273}$$

$= 8{\cdot}313 \times 10^7$ எர்க்/டிகிரி/கிராம் மூலக்கூறு.

$= \frac{8{\cdot}313 \times 10^7}{4{\cdot}2 \times 10^7}$ கலோரி/டிகிரி/கிராம்/மூலக்கூறு.

$= 1{\cdot}986$ கலோரி/டிகிரி/கிராம் மூலக்கூறு.

ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறு எடை (Molecular Weight) M எனில், ஒரு கிராம் நிறையுள்ள அவ் வாயுவின் பருமன் V என்பது,

$$V = \frac{Vm}{M}$$

எனவே, $\rho\cdot = \frac{Vm}{M} = RT$

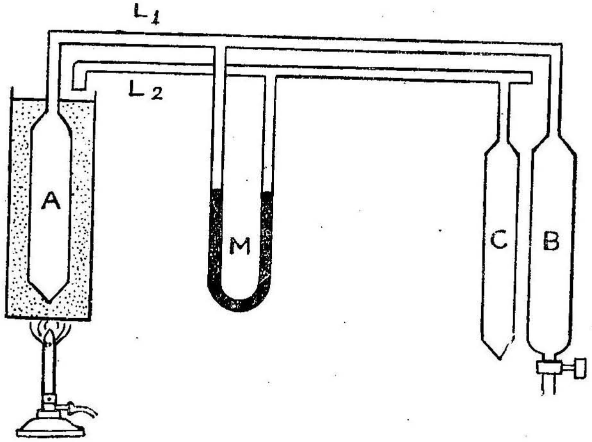
(அல்லது) $\rho Vm = MRT\ RuT.$

ஆகையால் பொது வாயு மாறிலி என்பது, ஒரு கிராம் நிறையுள்ள கொடுக்கப்பட்ட வாயுவின், வாயு மாறிலியைப்போல் M மடங்கு பெரியது என்பது இதனுல் பெறப்படுகிறது.

வாயு வெப்பநிலைமானிகள் (Gas Thermometers:) வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கு ஏற்ப, குறிப்பிட்ட நிறை உடைய வாயுவின் அழுத்தம் மாருநிலையில் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கத்தையோ (அல்லது) மாருப் பருமனில் அழுத்தமாறுபாட்டையோ கணக்கீடு செய்வதன் மூலம் ஒரு பொருளின் வெப்பநிலைகளை அளக்கக் கருவிகள் செய்ய இயலும். இக் கருவிகளை வாயுவெப்பநிலை மானிகள் என்கிருேம். ஜாலியின் மாருப் பருமன் வெப்பநிலை மானியையும், அதன் குறைபாடுகளையும், அக் குறைபாடுகள் நீக்கப்பெற்ற படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியைப் பற்றியும் முன்பே கண்டறிந்தோம். இனிக் காலண்டரின் ஈடு செய்யப்பட்ட காற்று வெப்பநிலைமானி (Callendar's Compensated Air Thremometer) செயல்படும் முறையைக் காண்போம்.

இக் கருவி சிலிகாவினுல் செய்யப்பட்ட ஒரு குமிழை (A) உடையது. இக் குமிழ் A, அதேபோன்ற] அளவீடுகள் குறிக்கப்

பட்ட, மற்றொரு குமிழுடன் (*B*) இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட நுண்குழாயினால் L_1 இணைக்கப்பட்டு உள்ளது. இதைக் கருவியின் வெப்பநிலைமானி பகுதி (Thermometric Side) என அழைக்கின்றோம். குமிழ் *B*-யின் அடியில் ஓர் அடைதிறப்பான் (Stop Cork) உள்ளது. L_1 என்ற நுண்துளைக் குழாயின் அருகில், அஃதொத்த மற்றொரு நுண்துளைக் குழாய் L_2 வைக்கப் பட்டு உள்ளது. அதன் ஒருமுனை *A* என்ற குமிழின் அருகில் மூடப்பட்டுள்ளது. மறுமுனை *B* என்ற குமிழின் அருகில் வைக்கப் பட்டு உள்ள அதைப்போன்ற குமிழ் *C* ஒன்றுடன் இணைக்கப்



படம் 79. காலண்டரின் ஈடுசெய்யப்பட்ட காற்று வெப்பநிலைமானி

பட்டுள்ளது. இதைக் கருவியின் ஈடுசெய்யும் பிரிவு (Compensating Side) என்று அழைக்கின்றோம். இரு நுண்குழாய்களும் *G* என்ற அழுத்தமானியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

தொடக்கத்தில் *A,B,C* என்ற குமிழ்கள் உருகுகின்ற பனிக் கட்டித் துண்டுகள் உள்ள தொட்டிகளால் சூழப்படுகின்றன. *B* என்ற குமிழில் பாதரசம் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இரு பிரிவு களிலும் அழுத்தங்கள் சமமாக இருக்குமாறு குழாய்கள் மூடப்படு கின்றன. எனவே இனிமேல் வளிமண்டல அழுத்தத்தில் ஏற்படும் மாறுபாடுகள் கருவியில் அடைபட்டுள்ள காற்றினைப் பாதிக்காது. மேலும் இரு பிரிவுகளிலும் உள்ள காற்றின் பருமனும், அழுத்தமும் சமம். *A* குமிழில் உள்ள காற்றும், *C* என்ற குமிழில் உள்ள காற்றும் பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலையிலேயே அமைந் துள்ளன. L_1-ல் உள்ள காற்றும், L_2 இல் உள்ள காற்றும் அறை வெப்பநிலைகளையே உடையன. எனவே இக் கருவியின் இரு

பிரிவுகளிலும் சமநிறையுள்ள காற்றே அடைப்பட்டு இருத்தல் வேண்டும். இக் காற்றின் நிறையை m கிராம் என்போம்.

உயர் வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு நீர்த்தொட்டியினுள் குமிழ் A வைக்கப்படுகிறது. B, C என்ற குமிழ்களைச்சுற்றிப் பனிக்கட்டித் துண்டுகளே வைக்கப்படுதல் வேண்டும். குமிழ்களில் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலைகள் வேறுபாடு அடைவதால் அழுத்தமானியில், திரவமட்டங்கள் ஒரே கிடைத்தளத்தில் அமைந்து இருக்கமாட்டா. குமிழ் B-யிலிருந்து சிறிதளவு பாதரசத்தை வெளியில் எடுத்து விடுவதன் மூலம் அழுத்தமானியில் திரவமட்டங்கள் ஒரே கிடைத் தளத்தில் இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். குமிழ் B-யில் வந்தடங்கியுள்ள காற்றின் பருமனை v என நேரிடையாக அளந்து கொள்ளலாம்.

ஒரு குமிழின் பருமனை V_0 எனவும், நுண்துளைக்குழாய் ஒன்றின் பருமனை v_1 எனவும் கொள்வோம். அறை வெப்பநிலை, உருகுகின்ற பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலை, A குமிழைச் சுற்றியுள்ள இரு நீர்த் தொட்டியின் வெப்பநிலை ஆகியவற்றை முறையே $t°A$, $T°A$, $T°A$ என்போம். வாயுச் சமன்பாட்டின்படி,

$$P\left[\frac{V_0}{T}+\frac{v_1}{t}+\frac{v}{T_0}\right]=m^{R} \text{ [வெப்பநிலைமானிப் பிரிவுக்கு]}$$

$$P\left[\frac{v_0}{T}+\frac{V_0}{T_0}\right]=m_{R} \text{ [ஈடுசெய்யும் பிரிவுக்கு]}$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட,

$$\frac{V_0}{T}+\frac{v_1}{t}+\frac{v}{T_0}=\frac{v_1}{T}+\frac{V_0}{T_0}$$

$$\therefore\ T=\frac{V_0\,T_0}{V_0-v}$$

குமிழ் A–யைச் சுற்றியுள்ள தொட்டியின் வெப்பநிலை $\theta°C$ என்போமானால்,

$$273+\theta=\frac{V_0\times 273}{V_0-v}$$

$$\therefore\ \theta=\frac{v}{V_0-v}\times 273$$

எனவே கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் வெப்பநிலையைக் கண்டறிதல் இயலும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) படித்தர வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் ஒரு லிட்டர் ஹைட்ரஜனின் நிறை 0·0896 கிராம் எனில், ஹைட்ரஜனின் வாயுமாறிலியைக் காண்க.

0·0896 கிராம் நிறையுள்ள ஹைட்ரஜனின் பருமன் = 1000 க.செ.மீ.

1 கிராம் நிறையுள்ள ஹைட்ரஜனின் பருமன் = $\frac{1000}{0 \cdot 0896}$ க.செ.மீ.

$P = 76 \times 13 \cdot 6 \times 981$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

$T = 273° A$

வாயுச் சமன்பாட்டின்படி,

$$PV = RT$$

$$R = \frac{PV}{T}$$

$$= \frac{76 \times 13 \cdot 6 \times 981}{273} \times \frac{1000}{0 \cdot 0896}$$

$$= 4 \cdot 145 \times 10^7 \text{ எர்க்/டிகிரி/கிராம்.}$$

(2) 360 க.செ.மீ. கொள்ளளவு உடைய ஒரு குடுவையினுள் உள்ள காற்றின் வெப்பநிலை 100°C-யை அடையுமாறு, வெப்பப் படுத்தப்பட்டபின், குடுவை மூடப்பட்டு, குளிர்விக்கப்படுகிறது. குடுவையைக் குளிர்ந்த நீர்த்தொட்டியில் வைத்து அதைத் திறந்தால், 96 க.செ.மீ. நீர் குடுவையினுள் விரைகிறது. குடுவையிலுள்ள காற்றின் வெப்பநிலையை 0°C எனக்கொண்டு, காற்றின் பரும விரிவெண்ணைக் கணக்கிடுக.

பருமப் பெருக்க எண் $\gamma_V = \frac{v}{(V - v)\, t_2 - V t_1}$

V, v என்பன முறையே குடுவையின் கொள்ளளவும், குடுவையினுள் உட்புகுந்த நீரின் கொள்ளளவுமாகும்.

$$\therefore \gamma_V = \frac{96}{(360 - 96)\, 100 - 360 \times 0}$$

$$= \frac{96}{26400}$$

$$= 0 \cdot 003637$$

5. வெப்ப அளவியல்

(Calorimetry)

ஒரு பொருளினுள் அடங்கியுள்ள வெப்பத்தின் அளவு மாறுபடும்பொழுது, அப் பொருளினது வெப்பநிலையிலும் ஏற்றத் தாழ்வு அதற்கேற்ப உண்டாவதால் வெப்பம்-வெப்பநிலை ஆகிய இரண்டையும் வினையும் விளைவும் என்று கூறுதல் பொருந்தும். ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை உயர்கிறது என்றால் அப் பொருள் மேலும் மேலும் வெப்ப ஆற்றலைப் பெறுகிறது என்றும், ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை குறைகின்றதெனில், அது வெப்பத்தைத் தொடர்ந்து இழக்கிறது என்றும் பொருள். மேலும் உயர்ந்த வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு பொருளையும் குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள மற்றொரு பொருளையும், தொடர்புற வைத்தோமேயாயின் இரு பொருள்களும் ஒரே வெப்பநிலையை அடையும்வரை, முதற்பொருளின் வெப்பநிலை குறைந்துகொண்டே வருவதையும், இரண்டாவது பொருளின் வெப்பநிலை உயர்ந்துகொண்டே செல்வதையும் கண்ணுற இயலும். உயர் அழுத்த நிலையிலிருந்து குறைந்த அழுத்த நிலைக்கு இரு நிலைகளிலும் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கும்வரை நீர் பாய்ந்து செல்வதுபோல, அதிக மின்னழுத்தமுள்ள ஒரு புள்ளியில் இருந்து குறைந்த மின்னழுத்தம் உள்ள புள்ளிக்கு மின்னோட்டம் செல்வது போல வெப்பமும், உயர்வெப்பநிலையில் உள்ள பொருளில் இருந்து, குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பொருளுக்கு விரைந்து செல்லும் இயல்புடையதாகும். எனவே வெப்பமும் ஒரு பௌதிக பரிமாணம் (Physical quantity) ஆகும்.

வெப்பத்தை அளப்பதற்கு மெட்ரிக் முறையில் கேலரி (Calorie) என்ற அலகும், பிரிட்டன் முறையில் பிரிட்டிஷ் வெப்ப அலகு (British Thermal Unit) என்ற அலகும் வழக்கில் உள்ளன.

ஒரு கிராம் நீரின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் கேலரி எனப்படும். இவ் வலகின் மதிப்பு எந்த வெப்பநிலையில் அளக்கப்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்துச் சிறிது மாறுபடும். ஆகையால் ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீரை $14{\cdot}5°C$யிலிருந்து $15{\cdot}5°C$க்கு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் ஒரு கேலரி என்று ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டு உள்ளது.

ஒரு பவுண்டு நீரின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி ஃபாரன்ஹைட் உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் பிரிட்டன் வெப்ப அலகு எனப்படும்.

1 பவுண்டு $= 453{\cdot}6$ கிராம்

$1°$ ஃபாரன்ஹைட் $= 5/9°$ சென்டிகிரேடு

∴ 1 பிரிட்டன் வெப்ப அலகு $= 453{\cdot}6 \times 5/9 = 252$ கலோரி

சமநிறையுள்ள வெவ்வேறு பொருள்களின் வெப்பநிலையைச் சம அளவு உயர்த்துவதற்கு வெவ்வேறு அளவுள்ள வெப்பம் தேவைப்படும் என்பதைச் சோதனைகள் மூலம் உணரலாம். இதிலிருந்து வெவ்வேறு பொருள்களின் வெப்ப ஏற்புத்திறன்கள் (Thermal Capacity) வெவ்வேறு ஆகும்.

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை 1 டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான அளவு வெப்பம் அப் பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் எனப்படும்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பொருளின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான அளவு வெப்பம் அந்தப் பொருளின் வெப்ப எண் (Specific Heat) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு பொருளின் நிறை m கிராம் எனவும், அப் பொருளின் வெப்ப எண் s எனவும் கொள்வோமேயானால் அப் பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் ms கேலரிகள் ஆகும். அதாவது,

வெப்ப ஏற்புத்திறன் = நிறை × வெப்ப எண்.

m கிராம் நிறையும், வெப்ப எண் s எனவும் உள்ள ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை $1°C$ உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் ms கேலரிகளாகும். அப் பொருளின் வெப்பநிலையை $t°C$ உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் mst கேலரிகள். தேவையான வெப்பத்தை Q எனக் குறிப்போமேயானல்,

$$Q = mst \text{ கேலரிகள்.}$$

அதாவது,

ஈட்டிய வெப்பம் அல்லது இழந்த வெப்பம்
= பொருளின் நிறை × வெப்ப எண் × வெப்பநிலை உயர்வு (அல்லது) வெப்பநிலை தாழ்வு

இதையே,

ஈட்டிய வெப்பம் அல்லது இழந்த வெப்பம்
= வெப்ப ஏற்புத்திறன் × வெப்பநிலை உயர்வு (அல்லது) வெப்பநிலை தாழ்வு

என்றும் எழுதலாம்.

ஒரு பொருளின் வெப்பச் சமநீர் (Water Equivalent) என்பது அதன் வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்குச் சமமான வெப்ப ஏற்புத் திறனைக் கொண்ட நீரின் நிறையாகும். இதை w என்ற எழுத்தால் எப்பொழுதும் குறிப்போம்.

m கிராம் நிறையுள்ளதும், s என்ற வெப்ப எண்ணைக் கொண்டதுமான ஒரு பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் ms கேலரிகளாகும். ஆனால் ms கேலரிகள் ms கிராம் நிறையுள்ள நீரின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் ஆகும். அதாவது ms கிராம் நிறையுடைய நீரின் வெப்பநிலையை $1°C$ உயர்த்த ms கலோரி வெப்பம் தேவை. எனவே அப் பொருளின் வெப்பச் சமநீர் w என்பது,

$$W = ms \text{ கிராம்.}$$

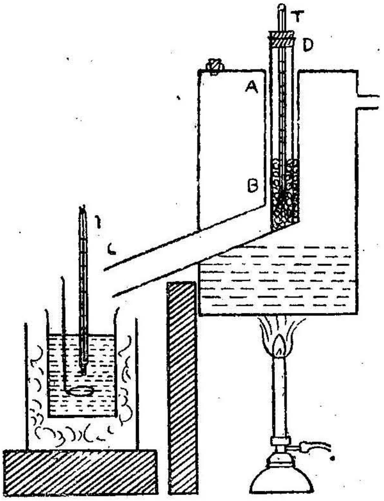
(அல்லது)

வெப்பச்சமநீர் = பொருளின் நிறை × பொருளின் வெப்ப எண்.

திடப்பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் காணல். (a) கலவை முறை (Method of Mixtures): உயர்ந்த வெப்பநிலையைக் கொண்ட ஒரு பொருள் குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பொருள் அல்லது பொருள்களுடன் கலக்கப்படும்பொழுது இப் பொருள்கள் சுற்றுப்புறச் சூழல்களில் இருந்து வெப்பத்தை ஏற்கவோ அல்லது சுற்றுப்புறச் சூழல்களுக்கு வெப்பத்தை இழக்கவோ செய்யும். மேலும் உயர் வெப்பநிலையில் உள்ள பொருள் இழந்த வெப்பம், குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பொருள் அல்லது பொருள்கள் ஈட்டிய வெப்பத்திற்குச் சமமாக இருக்கும்

என்ற உண்மையைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம், இக் கலவை முறையில், ஒரு திடப்பொருளின் வெப்ப எண் கணக்கிடப் படுகிறது.

ஒரு பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிடுவதற்குப் பயன் படும் கருவி கலோரிமானி ஆகும். இது வெளிப்புறம் நன்கு மெருகேற்றப்பட்ட சிலிண்டர் வடிவ தாமிர அல்லது அலுமினிய பாத்திரமாகும். இதனுள் அதே உலோகத்தாலான கலக்கி ஒன்று



படம் 80. ஒரு திடப்பொருளின் வெப்ப எண் காணல்

இருக்கும். இப் பாத்திரம் ஒரு மரப்பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டு, இவைகட்கு இடையேயுள்ள வெளி, தக்கை, பஞ்சு போன்ற அரிதில் கடத்திகளால், வெப்பக் கடத்தல், வெப்பச் சலனம் முதலிய முறைகளில் வெப்பம் வெளிச்செல்லாதிருக்க நிரப்பப்படவேண்டும்.

கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளை வெப்பப்படுத்த ஒரு தனி உபகரணம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு சிலிண்டர் வடிவ கொதிகலத்தினுள் *ABC* என்ற வளைந்த குழாய் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. இக் குழாயினுள் *B* என்ற இடத்திலுள்ள போக்கினை மூடும்வண்ணம் மற்றொரு குழாய் *D*, *AB*-யினுள் செருகி வைக்கப் பட்டு உள்ளது. இவ்விடத்தில்தான் கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளைச் சிறுசிறு துண்டுகளாக வைக்கப்பட்டு இருக்கும். குழாய் *D*-யை மேலே உயர்த்தினால், பொருள், *BC* என்ற சாய்வான குழாய் வழியே கீழே வந்து விழும். குழாய் *D*-யை

ஒரு துளை அடைப்பானுல் மூடி, துளைவழியே ஒரு வெப்ப நிலைமானியைச் செருகவேண்டும். இதனுதவியால் திடப்பொருள் அடையும் நிலையான உயர்ந்த வெப்பநிலை அளவிடப்படுகிறது.

முதலில் தூய்மையான, ஈரமற்ற, காலியான ஒரு கலோரி மானியின் நிறையை (W_1 கிராம்) கலக்கியுடன் காணவேண்டும். தேவையான அளவு நீரை இதனுள் எடுத்துக்கொண்டு மீண்டும் இவற்றின் நிறையை (W_2 கிராம்) கண்டுபிடித்தல் வேண்டும். நீரை நன்கு கலக்கி, ஒரு நுட்பமான வெப்பநிலைமானியின் உதவியால், அதன் ஆரம்ப வெப்பநிலை t_1°C துல்லியமாக அளவிடப்பெறுகிறது. இதற்குள் சிறுசிறு துண்டுகளாக உள்ள திடப்பொருள் தனி உப கரணத்தில், ஒரு உயர்ந்த வெப்பநிலையை t_2°C நிலையாக அடைந்து இருக்கும். D என்ற குழாயை விரைவாக மேல்நோக்கி உயர்த்து வதன் மூலம் திடப்பொருளைக் கலோரிமானிக்குள் உள்ள நீரினுள் விரைவாக விழுமாறு செய்து நன்கு கலக்கி, கலவைபெறும் பொது வெப்பநிலையை t_3°C குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இறுதியாக, கலோரிமானி, நீர், திடப்பொருள் ஆகியவற்றின் நிறை காணப் படுகிறது. இந் நிறையை W_3 கிராம் என்போம்.

கலோரிமானியைச் செய்ய பயன்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண்ணை S என்க. கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளின் வெப்ப எண் x எனக் கொள்வோம்.

கலோரிமானி ஈட்டிய வெப்பம் $= W_1 S (t_3 - t_1)$ கலோரிகள்

நீர் ஈட்டிய வெப்பம் $= (W_2 - W_1)(t_3 - t_1)$ கலோரிகள்

பொருள் இழந்த வெப்பம் $= (W_3 - W_2)\ x\ (t_2 - t_3)$ கலோரிகள்.

பொருள் இழந்த வெப்பம் = கலோரிமானியும், நீரும் ஈட்டிய வெப்பம்.

$$\therefore (W_3 - W_2)\, x\, (t_2 - t_3) = W_1\, S\, (t_3 - t_1) + (W_2 - W_1)x\,(t_3 - t_1)$$

$$\therefore x = \frac{[W_1 S + (W_2 - W_1)]\,(t_3 - t_1)}{(W_3 - W_2)(t_2 - t_3)}$$

கலோரிமானி செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் S தெரியுமேயானுல், கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளின் வெப்ப எண் x-ஐக் கணக்கிடலாம்.

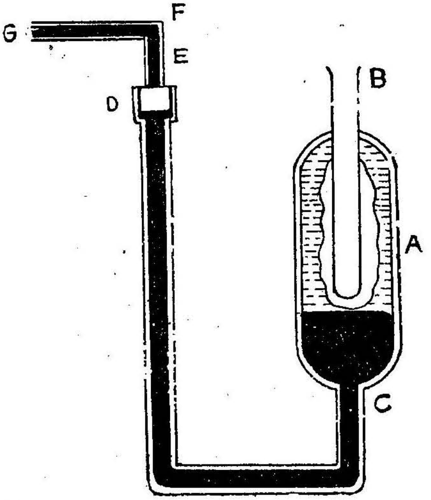
இச் சோதனையைச் செய்யும்பொழுது, கலோரிமானியில் இருந்து சுற்றுப்புற சூழல்களுக்கு வெப்பம் பரவுதல் காரணமாக, பிழை ஏற்படும். இதற்கான திருத்தங்களை ஈண்டு காண்போம்.

(i) **கதிர்வீச்சினால் ஏற்படும் பிழைக்கானத் தோராயத் திருத்தம் (Approximate Radiation Correction):** உயர் வெப்ப நிலையில் உள்ள திடப்பொருளை, கலோரிமானிக்குள் மாற்றப்பட்ட உடனேயே ஒரு நிறுத்துகடிகாரத்தை ஓடவிடவேண்டும். கலோரிமானியில் உள்ள கலவை, பெரும வெப்பநிலையை அடைவதற்குத் தேவையான நேரத்தைக் கணக்கிடவேண்டும். வெப்பநிலை, பெரும மதிப்பை அடைந்தபின், தொடர்ந்து அதே அளவு காலத்திற்கு ஏற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். வெப்பநிலை வீழ்ச்சியில் பாதி கதிர்வீச்சினால் ஏற்படும் பிழைக்கான தோராயத் திருத்தமாகும். இதைப் பெரும வெப்பநிலையுடன் கூட்டிக் கொள்ளவேண்டும்.

(ii) **தவிர்த்தல் முறை (Elimination Method):** பரிசோதனைகளைத் திரும்பச் செய்வதன் மூலம் கலோரிமானியும், நீரும் எவ்வளவு வெப்பநிலை உயர்வைப் பெறும் என்பதை முன்கூட்டியே அறிந்து கொள்ளவேண்டும். உதாரணமாகக் கலோரிமானியும், நீரும் அடையும் வெப்பநிலை உயர்வு $t°C$ எனில், கலோரிமானியில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் நீரின் வெப்பநிலை, சுற்றுப்புற வெப்ப நிலையைவிட $t°C$ அளவு குறைவாக இருத்தல்வேண்டும். இதனால் பரிசோதனைக்குமுன் சுற்றுப்புறத்தில் இருந்து கதிர்வீசல் முறையில் கலோரிமானியை அடைந்த வெப்பம், பரிசோதனையின்பொழுது வெளியேறும் வெப்பத்தை ஈடுசெய்வதால், கதிர்வீச்சினால் ஏற்படக் கூடிய பிழை தவிர்க்கப்படுகிறது.

புன்ஸன் பனிக்கட்டி கேலரிமீட்டர் முறை (Bunsen's Ice Calorimeter Method): ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பனிக்கட்டியை அதன் உருகுநிலையில் முழுதும் நீராக மாற்றக் குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பம் தேவை. மேலும் பனிக்கட்டி உருகும்பொழுது அதன் பருமனில், ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு பருமக் குறைவு ஏற்படும். இவ்விரு உண்மைகளையும் அடிப்படையாகக் கொண்டு இம் முறையில் ஒரு பொருளின் வெப்பஎண் கணக்கிடப்பெறுகிறது. திடப்பொருளோ (அல்லது) திரவமோ சிறிய அளவில் கிடைக்கப் பெறுமேயானால், அவற்றின் வெப்ப எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க புன்ஸனால் உருவாக்கப்பட்ட இப் பனிக்கட்டி கேலரிமீட்டர் மிகவும் உபயோகமானது.

புன்ஸன் பனிக்கட்டி கேலரிமீட்டர் ஒரு மெல்லிய குழாயை (B) உடையது. இது ஓர் அகன்ற குழாய் Aயின் நடுவில் பொருத்தப்பட்டு உள்ளது. குழாய் Aயின் அடிப்பாகம் இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட CD என்ற குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டு



படம் 81. புன்சன் பனிக்கட்டி கேலரிமீட்டர்

இருக்கிறது. CD என்ற இக் குழாயின் மேல்முனையில் ஒரு கிண்ணம் D காணப்படுகிறது. ஓர் இரப்பர் அடைப்பான், இக் கிண்ணத்தின் மேற்பரப்பை மூடுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அடைப்பானின் வழியே ஒரு நுண்குழாய் EFG கிண்ணத்தினுள் செருகப்பட்டுள்ளது. இந்த நுண்குழாய் EFG, F-ல் செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் கிடைத்தளப் பகுதி FG அளவீடுகள் குறிக்கப் பெற்றது. நுண்குழாய் EFG, குழாய் CD, A என்ற குழாயின் அடிப்பகுதி ஆகியவை பாதரசத்தால் நிரப்பப்பட்டு உள்ளன. A-யின் எஞ்சியுள்ள பகுதி காற்றுக் குமிழிகள் இல்லாத தூய நீரால் நிரப்பப்பட்டு இருக்கிறது.

குழாய் B-யில் சிறிதளவு ஈதரை ஊற்றி வைப்போமேயானல், அது விரைவில் ஆவியாவதைக் காணலாம். எனவே B-யைச் சுற்றியுள்ள நீர் குளிர்ச்சி அடையும். ஆகையால் B-யைச் சுற்றி வெளிப்புறமாகப் பனிக்கட்டி உருவாகின்றது. பொருளைக் குழாய் B-யினுள் போடும்பொழுது குழாய் உடைந்துவிடாமல் இருக்கக் குழாயின் அடியில் சிறிது கண்ணாடிப்பஞ்சை வைத்தல் வேண்டும்

m கிராம் நிறையுள்ள ஒரு திடப்பொருளை ஓர் உயர்வெப்பநிலைக்கு ($\theta°C$) வெப்பப்படுத்தவேண்டும். கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் வெப்ப எண்ணை S எனக் கொள்வோம். இதைக் குழாய் B-யினுள் போடுவோமேயானால், அதன் வெப்பநிலை $0°C$-க்கு வீழ்ச்சி அடையும். இதன் விளைவாகப் பொருள் $ms\theta$ கலோரி வெப்பத்தை இழக்கும். இவ் வெப்பம் B-யைச் சுற்றியுள்ள பனிக்கட்டியை உருகவைப்பதால் அதன் பருமனில் குறைவு ஏற்படுகிறது. இதனால் குழாய் A-யினுள் பாதரசமட்டம் உயரும். இதன் விளைவாகக் கிடைத்தளக்குழாய் FG-யில் பாதரசம் பின்னடையும். FG-யில் பாதரசம் n அளவீடுகள் பின்னடைவதாகக் கொள்வோம். $ms\theta$ கலோரி வெப்பம் பாதரசத்தை n அளவீடுகள் பின்னடையச் செய்வதாகக் கொள்வதால் 1 அளவீடு பின்னடையச் செய்யத் தேவையான வெப்பம் $\frac{ms\theta}{n}$ கலோரிகளாகும்.

இனி எந்தப் பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிட வேண்டுமோ, அந்தப் பொருளை $t°C$ வெப்பநிலைக்கு வெப்பப்படுத்தி அதைக் குழாய் Bயுள் போடவேண்டும். இதன் விளைவாக FG-யில் பாதரசமட்டம் N அளவீடுகள் பின்னடைவதாகக் கொள்வோம். கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் நிறை M கிராம் என்க. அப் பொருளின் வெப்ப எண்ணை x எனக் கொள்வோம்.

$$\text{பனிக்கட்டி ஈட்டிய வெப்பம்} = \frac{ms\theta}{n}\cdot N\cdot$$

$$\text{பொருள் இழந்த வெப்பம்} = M.x.t.$$

$$\therefore \frac{ms\theta}{n}\cdot N\cdot = M.x.t.$$

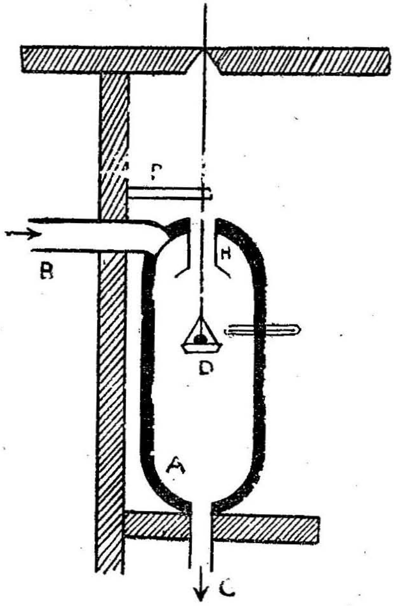
(அல்லது)

$$x = \frac{m\theta}{Mt}\cdot\frac{N}{n}\cdot S\cdot$$

நுட்பமாக அமைக்கப்பட்டால் இக் கருவியைக் கொண்டு செய்யப்படும் சோதனைகளின் முடிவுகள் 0·01 கலோரி சுத்தமாகக் கிடைக்கும். இதே முறையைத் திரவங்களின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிடவும் பின்பற்றலாம்.

ஜாலி நீராவிக் கேலரிமீட்டர் (Joly's Steam Calorimeter): திடப்பொருள்களின் வெப்ப எண்களைத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்க இந் நீராவிக் கேலரி மீட்டர் பெரிதும் பயன்படுகிறது. இக்

கருவி ஒரு நுட்பமான தராசை உடையது. இத் தராசின் ஒரு புயத்தில் இருந்து ஒரு சிறிய உலோகத்தட்டு நீண்ட மெல்லிய கம்பியால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தட்டு, நீராவி நுழைவதற்கு அகன்ற துளையும், அந் நீராவி வெளியேறுவதற்குச் சிறிய துளையும், உள்ள ஒரு நீராவி அறையினுல் சூழப்பட்டு இருக்கும். அறையினுள், உலோகக் கம்பி நுழைவதற்கு ஏதுவாக உள்ள துளை H மிகச் சிறியதாக அமைக்கப்பட்டு இருத்தல் வேண்டும். நீராவிக் குளிர்வதால் ஏற்படும் நீர்த்திவலைகள், அறையின் வாயிலில் படியாத வாறு தடுக்க வெப்பப்படுத்தப் பட்ட நிக்கல் கம்பிச்சுருள் P உலோகக் கம்பியைச்சுற்றி அறையின் வாய்க்கு (H) சற்று மேலே வைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 82. ஜாலி நீராவிக் கேலரிமீட்டர்

கொடுக்கப்பட்ட திடப் பொருளைத் தட்டின்மேல் வைத்து அதன் நிறையைக் காணவேண்டும். நீராவி அறையினுள் உள்ள காற்றின் ஆரம்ப வெப்பநிலையைக்குறித்துக்கொண்டபின், அறையினுள் கிட்டத்தட்ட 5 நிமிட நேரத்திற்கு நீராவியைத் தொடர்ந்து செலுத்தவேண்டும். திடப்பொருள், தட்டு ஆகியவைகளைச் சுற்றி நீராவி குளிர்ந்திருக்கும். நீராவி செலுத்தப்பட்டுக் கொண்டிருக்கும் பொழுதே, தட்டின்மேல் படியும் நீரின் எடையைக் கணக்கிடவேண்டும்.

தட்டின் நிறை W கிராம் எனவும், அது செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் S எனவும் கொள்வோம். தட்டின்மேல் வைக்கப்படுகின்ற திடப்பொருளின் நிறை M கிராம் எனவும், அதன் வெப்ப எண்ணை x எனவும், கொள்க. நீராவி அறையின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $t_1°C$ எனவும், நீராவியின் வெப்பநிலை $t_2°C$ எனவும் இருக்கட்டும். குளிர்வடைந்த நீராவியின் நிறையை m கிராம் எனவும், நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தை L எனவும் கொள்வோமேயானல்,

குறைகிறது என்றும், 30°C வெப்பநிலைக்குமேல், நீரின் வெப்ப எண் உயர்கிறது என்றும் கண்டறியப்பட்டது. காலண்டர்-பார்ன்ஸ் தொடர்பாய்தல் முறையில்(Callendar Barne's continuos flow method) நீரின் வெப்ப எண் துல்லியமாகக் கணக்கிடப் பட்டது. இப் பரிசோதனை மூலமாக 37·5°C வெப்பநிலையில் நீரின் வெப்ப எண் சிறும மதிப்பு உடையது என்றும், அம் மதிப்பு 0·9943 எனவும் அறியப்பெற்றது. பொதுவாக, நாம் 15°C வெப்ப நிலையில் நீரின் வெப்ப எண் ஒன்று எனக் கொள்ளலாம்.

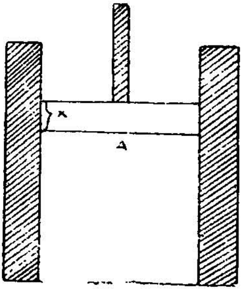
வாயுக்களின் இரு வெப்ப எண்கள் (Specific Heats of Gases): ஒரு வாயுவின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது, அதன் பருமனிலும் அழுத்தத்திலும் அதிக அளவில் மாறுபாடுகள் உண்டாகின்றன. ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்தையோ (அல்லது) பருமனையோ மாறாத ஒன்றாகக்கொண்டு, அவ் வாயுவுக்கு வெப்பத்தை அளிப்பதன் மூலம், மற்றதைப் பெருக்கமடையச் செய்தல் இயலும். ஆனால், ஒரே வெப்பநிலை உயர்வுக்கு, அழுத்தம் மாறாநிலையில் பருமனை விரிவடையச் செய்யும் வெப்பமும், மாறாப்பருமனில் அழுத்தத்தை விரிவடையச்செய்யும் வெப்பமும் சம மதிப்புடையன அல்ல.

பருமன் மாறாநிலையில், ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வடையச் செய்வதற்குத் தேவையான அளவு வெப்பம், அவ் வாயுவின் பருமன் மாறா வெப்பஎண் (specific heat at constant volume) எனப்படும். இதை வழக்கத்தில் C_v என்ற எழுத்தால் குறிக்கிறோம். இந் நிகழ்ச்சியில் வாயுவுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்பம், அவ் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை (internal energy) அதிகரிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எனவே, உள்ளார்ந்த ஆற்றல் அதிகரித்தலின் விளைவாகவே வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வடைகிறது என்று கூறுவதில் பிழையில்லை. எனவே, ஒரு கிலோ கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்தினால் அவ் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் C_v கிலோ கலோரிகள் கூடுதலடைகின்றன என்றும் கொள்ளலாம்.

அழுத்தம் மாறாநிலையில், ஒரு கிலோ கிராம் வாயுவின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வதற்குத் தேவையான வெப்பம், அவ் வாயுவின் அழுத்தம் மாறா எண் (specific heat at constant pressure) என்று கூறப்படுகிறது. இதை C_p என்ற எழுத்தால் குறிக்கின்றோம். வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அழுத்தம் மாறாது இருந்தால் பருமன் விரிவடையும். அதாவதுவெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக, வாயு விரிவடைகிறது. வெளிஅழுத்தத்தைஎதிர்த்துப் பெருக்கமடைவதில் வாயுவினால் செய்யப்பட

வேண்டிய வேலைக்குத் தேவையான ஆற்றலை, வாயுவு அளிக்கப்பட்ட வெப்ப ஆற்றலில் இருந்துதான் பெற்று இருக்க வேண்டும். ஆனால், வெப்பநிலையில் உண்டாகும் ஒரு டிகிரி சென்டி கிரேடு உயர்வு உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் C_v கிலோ கலோரி கூடு தலடைகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. எனவே, இவ்விரண்டையும் ஒருங்கே ஆற்றவல்ல C_p-யின் மதிப்பு, C_v யின் மதிப்பைவிட அதிகமானதாகும்.

ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு $C_p - C_v = \frac{R}{J}$: மெருகேற்றப்பட்ட, வெப்பம் கடத் தாத ஒரு சிலிண்டருள் உராய்வின்றி பணியாற்றும் வெப்பம் கடத்தாத உந்து தண்டினல், m நிறையுள்ள வாயு, அடைத்து வைக்கப்பட்டு இருக்கட்டும். குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பம் இவ் வாயுவுக்கு அளிக்கப்படும்பொழுது இதன் வெப்பநிலை மட்டும் $\delta\theta$



படம் 83.

அளவு உயருவதாகவும், அவ் வாயுவின் பருமன் மாருது இருக்கும் வண்ணம் உந்துதண்டு அழுத்தப்படுவதாகவும் கொள்வோம். எனவே, வாயுவுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு $mCv\delta\theta$ இவ் வெப்பம் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலைமட்டும் அதிகரிக்கப் பயன்படுத்தப்படுவதால் m கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்ப நிலை $\delta\theta$ டிகிரி உயரும்போது உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் ஏற்படும் உயர்வை $mC_v\delta\theta$ என்றே கொள்ளலாம்.

அதே அளவு நிறையுள்ள வாயுவுக்கு, அழுத்தம் மாருநிலையில் அதே அளவு வெப்பம் அளிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம் அழுத்தம் மாருததால் வாயுவின் பருமன் பெருக்கமடைதல் வேண்டும். எனவே, உந்துதண்டு x தொலைவு மேல்நோக்கி

நகர்வதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் அழுத்தத்தை P என்றும் பருமனை v எனவும், பருமனில் ஏற்பட்டுள்ள பெருக்கத்தை δ_V என்பதாகவும் கொள்வோம். எனவே, வாயுவுக்குக் கொடுக்கப் பட்ட வெப்பம் $= mC_p\delta\theta$. இவ் வெப்பம் இரு வழிகளில் பயன் படுத்தப்படுகிறது.

(1) $\delta\theta$ டிகிரி வெப்பநிலை உயர்வுக்குச் சமமான, வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை உயர்த்துவதில் $mC_v\delta\theta$ வெப்பம் செலவழிக் கப்படுகிறது.

(2) எஞ்சிய வெப்பம், வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக வாயு பெருக்கமடைவதால் செய்யப்படவேண்டிய செயலுக்குப் பயன் படுத்தப்படுகிறது.

செய்யப்பட்ட செயல் = விசை × தூரம்

$$= (P \times A) \times x = PAx$$

$$= P\delta_V$$

A என்பது வாயு அடைக்கப்பட்டுள்ள சிலிண்டரின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பாகும். J வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று எண்.

இப் பணியைச் செய்யத் தேவையான வெப்பம் $= \frac{P\delta_V}{J}$

எனவே,

$$mC_p\delta\theta = mC_v\delta\theta + \frac{P\delta_V}{J} \qquad ...1$$

ஆனால், ஒரு இலட்சிய வாயுவுக்கான சமன்பாட்டின்படி,

$$P.\frac{V}{m} = R\theta$$

வகைப்படுத்த (differentiating)

$$P\delta_V = mR.\delta\theta$$

$$\therefore \quad \delta_V = \frac{mR\delta\theta}{P}$$

δ_V-யின் மதிப்பை (1)வது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$mC_p\delta\theta = mC_v\delta\theta + \frac{mR\delta\theta}{J}$$

$$C_p = C_v + \frac{R}{J}$$

$$\therefore \; C_p - C_v = \frac{R}{J}$$

இதனை மேயர் (Mayer) என்பவர் முதன் முதலில் தருவித்ததால் இது மேயர் சமன்பாடு என்றும் அழைக்கப்பெறும்.

மற்றொரு முறை (Aliter) :

ஒரு அலகு நிறையுள்ள வாயு ஒன்றுக்கு மாறா அழுத்தத்தில் dQ அளவு வெப்பம் கொடுக்கப்பட்டதால் அதன் வெப்பநிலை $d\theta$ அளவு உயர்ந்ததாகக் கொள்வோம். அவ் வாயுவின் மாறாஅழுத்த வெப்பஎண்ணை C_p எனக்கொண்டால் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம்

$$dQ = 1 \times C_p \times d\theta$$

இந்த அளவு வெப்ப ஆற்றலானது வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கும், அதே சமயத்தில் வாயுவின் பெருக்கத்தால் வெளிச்செயல் புரிவதற்கும் பயன்படுத்தப் படுகிறது.

எனவே,

உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கு எடுத்துக்கொண்ட வெப்பம் $\Big\} = C_v \times d\theta$

இங்கு C_v என்பது வாயுவின் மாறாப்பருமன் வெப்ப எண்ணாகும். வெளி அழுத்தம் P-யாகவும், பரும அதிகரிப்பு dv ஆகவும் இருந்தால் செய்யப்பட்ட செயலின் அளவு Pdv கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் = உள்ளார்ந்த ஆற்றலின் அதிகரிப்பு + வெளிச் செயல்

$$\therefore \; dQ = C_p \times d\theta = C_v \times d\theta + Pdv$$

இவ் வாயு ஒரு இலட்சிய வாயுவாக இருந்தால்,

$$Pv = R\theta$$

வகைப்படுத்தினால்,

$$Pdv = Rd\theta \quad [\because P = \text{மாறிலி}]$$

$$\therefore \; C_p \times d\theta = C_v \times d\theta + Rd\theta$$

$$C_p = C_v + R$$

$$C_p - C_v = R$$

R-ன் மதிப்பை வெப்ப அலகுகளில் எழுத

$$C_p - C_v = \frac{R}{J}$$ எனக் கிடைக்கும்.

ஒன்ருகக்கொண்டு, அவ் வாயுவுக்கு வெப்பத்தை அளிப்பதன் மூலம், மற்றதைப் பெருக்கமடையச் செய்தல் இயலும். ஆனுல் ஒரே வெப்பநிலே உயர்வுக்கு, அழுத்தம் மாருநிலேயில் பருமனே விரிவடையச் செய்யும் வெப்பமும், மாருப் பருமனில் அழுத்தத்தை விரிவடையச் செய்யும் வெப்பமும் சம மதிப்புடையன அல்ல.

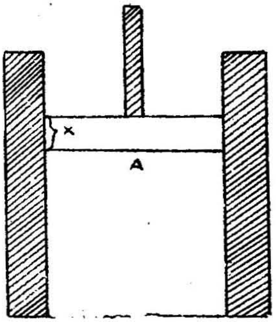
பருமன் மாருநிலேயில், ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலேயை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வடையச் செய்வதற்குத் தேவையான அளவு வெப்பம், அவ் வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண் (Specific Heat at Constant Volume) எனப்படும். இதை வழக்கத்தில் Cv என்ற எழுத்தால் குறிக்கிருேம். இந் நிகழ்ச்சியில் வாயுவுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்பம், அவ் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலே (Internal Energy) அதிகரிக்கப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. எனவே உள்ளார்ந்த ஆற்றல் அதிகரித்தலின் விளேவாகவே வெப்பநிலே ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வடைகிறது என்று கூறுவதில் பிழையில்லே. எனவே ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலேயை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்திஞல், அவ் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் C_V கலோரிகள் கூடுதலடைகின்றன என்றும் கொள்ளலாம்.

அழுத்தம் மாருநிலேயில், ஒரு கிராம் வாயுவின் வெப்பநிலேயை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம், அவ் வாயுவின் அழுத்தம் மாரு எண் (Specific Heat at Constant Pressure) என்று கூறப்படுகிறது. இதை C_P என்ற எழுத்தால் குறிக்கின்ருேம். வெப்பநிலே உயரும்பொழுது அழுத்தம் மாருது இருந்தால் பருமன் விரிவடையும். அதாவது வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக, வாயு விரிவடைகிறது. வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்துப் பெருக்கமடைவதில் வாயுவிஞல் செய்யப்படவேண்டிய வேலேக்குத் தேவையான ஆற்றலே, வாயுவுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்ப ஆற்றலில் இருந்துதான் பெற்று இருக்கவேண்டும். ஆனுல் வெப்பநிலேயில் உண்டாகும் ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்வு உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் C_V கலோரி கூடுதலடைகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. எனவே இவ்விரண்டையும் ஒருங்கே ஆற்றவல்ல C_P-யின் மதிப்பு, C_V-யின் மதிப்பைவிட அதிகமானதாகும்.

ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு . $C_P - C_V = \frac{R}{J}$: மெருகேற்றப்பட்ட, வெப்பம் கடத்தாத ஒரு சிலிண்டருள் உராய்வின்றி பணியாற்றும் வெப்பம் கடத்தாத உந்து தண்டிஞல், m கிராம் நிறையுள்ள வாயு, அடைத்து வைக்கப்பட்டு இருக்கட்டும். குறிப்பிட்ட அளவு

வெப்பம் இவ் வாயுவுக்கு அளிக்கப்படும்பொழுது இதன் வெப்பநிலை மட்டும் $\delta\theta$ அளவு உயருவதாகவும், அவ் வாயுவின் பருமன் மாறாது இருக்கும் வண்ணம் உந்துதண்டு அழுத்தப்படுவதாகவும் கொள்வோம். எனவே வாயுவுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு $mC_V\delta\theta$ கலோரிகளாகும். இவ் வெப்பம் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலைமட்டும் அதிகரிக்கப் பயன்படுத்தப்படுவதால் m கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலை $\delta\theta$ டிகிரி உயரும் போது உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் ஏற்படும் உயர்வை $mC_V\delta\theta$ என்றே கொள்ளலாம்.

அதே அளவு நிறையுள்ள வாயுவுக்கு, அழுத்தம் மாறா நிலையில் அதே அளவு வெப்பம் அளிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். அழுத்தம் மாறாததால் வாயுவின் பருமன் பெருக்கமடைதல் வேண்டும். எனவே உந்துதண்டு x செ.மீ. மேல்நோக்கி நகர்வதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் அழுத்தத்தை P டைன்/ச.செ.மீ. என்றும், பருமனை v எனவும், பருமனில் ஏற்பட்டுள்ள பெருக்



படம் 85.

கத்தை δV என்பதாகவும் கொள்வோம். எனவே வாயுவுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் $= mCp\delta\theta$ கலோரிகளாகும். இவ் வெப்பம் இரு வழிகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

(1) $\delta\theta$ டிகிரி வெப்பநிலை உயர்வுக்குச் சமமான, வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை உயர்த்துவதில் $mC_V\delta\theta$ கலோரி செலவழிக்கப்படுகிறது.

(2) எஞ்சிய வெப்பம், வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக வாயு பெருக்கமடைவதால் செய்யப்படவேண்டிய செயலுக்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

செய்யப்பட்ட செயல் = விசை × தூரம்

$$= (P \times A) \times x = PAx \text{ Erg.}$$

$$= P\delta_V \text{ எர்க்.}$$

A என்பது வாயு அடைக்கப்பட்டுள்ள சிலிண்டரின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பாகும். J வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று எண்.

இப் பணியைச் செய்யத் தேவையான வெப்பம் = $\frac{P\delta v}{J}$ கலோரி

எனவே,

$$mC_P\delta_V\theta = mC\delta\theta + \frac{P\delta_V}{J} \qquad \dots \quad 1$$

ஆனால் ஒரு இலட்சிய வாயுவுக்கான சமன்பாட்டின்படி,

$$P.\frac{V}{m} = R\theta$$

வகைப்படுத்த (differentiating)

$$P\delta_V = mR.\,\delta\theta$$

$$\therefore \delta V = \frac{mR\,\delta\theta}{P}$$

$_V\delta$- யின் மதிப்பை (1)வது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$mC_P\delta\theta = m\,C_V\delta\theta + \frac{mR\delta\theta}{J}$$

$$C_P = C_V + \frac{R}{J}$$

$$\therefore C_P - C_V = \frac{R}{J}$$

இதனை மேயர் (Mayer) என்பவர் முதன் முதலில் தருவித்த தால் இது மேயர் சமன்பாடு என்றும் அழைக்கப்பெறும்.

மற்றொரு முறை (Aliter) :

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயு ஒன்றுக்கு மாறா அழுத்தத்தில் dQ அளவு வெப்பம் கொடுக்கப்பட்டதால் அதன் வெப்பநிலை $d\theta$ அளவு உயர்ந்ததாகக் கொள்வோம். அவ் வாயுவின் மாறா அழுத்த வெப்ப எண்ணை C_P எனக் கொண்டால் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம்

$$dQ = 1 \times C_P \times d\theta$$

இந்த அளவு வெப்ப ஆற்றலானது வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கும், அதே சமயத்தில் வாயுவின் பெருக்கத்தால் வெளிச்செயல் புரிவதற்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

எனவே,

$$\left.\begin{array}{c}\text{உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கு}\\ \text{எடுத்துக்கொண்ட வெப்பம்}\end{array}\right\} = C_V \times d\theta$$

இங்கு C_V என்பது வாயுவின் மாருப்பருமன் வெப்பஎண்ணாகும். வெளி அழுத்தம் P-யாகவும், பரும அதிகரிப்பு d_V ஆகவும் இருந்தால் செய்யப்பட்ட செயலின் அளவு Pd_V. கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் = உள்ளார்ந்த ஆற்றலின் அதிகரிப்பு + வெளிச் செயல்

$$\therefore\ dQ = C_P \times d\theta = C_V \times d\theta + Pd_V$$

இவ்வாயு ஒரு இலட்சிய வாயுவாக இருந்தால்,

$$Pv = R\,\theta$$

வகைப்படுத்தினல்,

$$Pd_V = Rd\theta\ [\because P = \text{மாறிலி}]$$

$$\therefore C_P = d\theta = C_V \times d\theta + R\,d\theta.$$

$$C_P = C_V + R$$

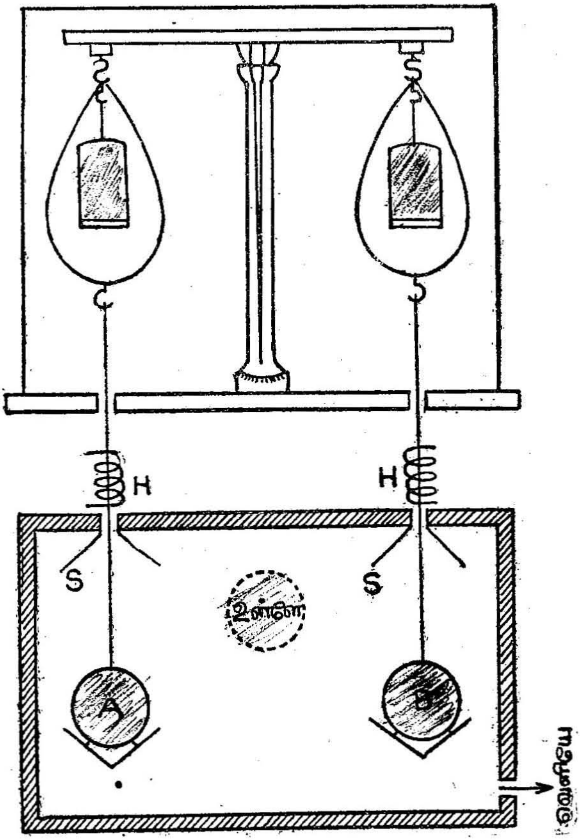
$$C_P - C_V = R.$$

R-ன் மதிப்பை வெப்ப அலகுகளில் எழுத

$$C_P - C_V = \frac{R}{J}\ \text{எனக் கிடைக்கும்.}$$

ஜாலியின் பகு நீராவிக் கலோரிமீட்டர் முறையில் வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண்ணின் மதிப்பைக் காணல் (Cv by Joly's Differential Steam Calorimeter): ஏறத்தாழ 7 செ.மீ. விட்டத்தை யுடையனவாயும் பருமன், நிறை முதலிய எல்லா அளவுகளிலும், ஒரே மாதிரியானவையாகவும் உள்ள இரு செப்புக் கோளங்கள் ஒரு நீராவி அறைக்குள் இருக்கும்படியாக ஒரு நுட்பமான தராசின் இரு புயங்களில் இருந்தும் சம நீளமுள்ள இரு மெல்லிய கம்பி

களால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. இரு கம்பிகளும் நீராவி அறைக்குள் செல்வதற்காக உள்ள துவாரங்களில், நீர்த்திவலைகள் படிவதைத் தடுப்பதற்காக இரு வெப்பப்படுத்தப்பட்ட நிக்கல் சுருள் கம்பிகள், அத் துவாரங்களுக்குச் சற்று மேலே இரு கம்பிகளைச் சுற்றி அமைக்கப்பட்டுள்ளன. கோளங்களுக்குக் கீழ் அவற்றுடன் பொருத்தப்பட்டவாறு சம நிறையுள்ள இரு நீர்ப்பிடிப்பான்கள்



படம் 86. பருமன் மாரு வெப்ப எண் காணல்-ஜாலி கலோரி மீட்டர்

(Catch waters) உள்ளன. நீராவி அறையினுள் நீராவி நுழைய ஓர் அகன்ற குழாயும், அந் நீராவி வெளிச் செல்ல ஒரு சிறு குழாயும் அவ்வறையுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

இரு கோளங்களில் இருந்தும் காற்றை வெளியேற்றிவிட்டுத் தராசுக்கோலைச் சரியீடு செய்து கொள்ளவேண்டும். கொடுக்கப்

பட்ட வாயுவை ஒரு கோளத்தினுள் உயர்ந்த அழுத்தத்தில் அடைத்து வைத்து, தராசுக்கோலை மறுபடியும் சமன் செய்வதன் மூலம் அடைக்கப்பட்ட வாயுவின் நிறையை அறிந்து கொள்ளலாம். கொதிகலனில் இருந்து நீராவியைச் சுமார் 5 நிமிடத்திற்கு நீராவி அறைக்குள் செலுத்தவேண்டும். இரு கோளங்களைச் சுற்றிலும் நீராவி குளிர்ந்து படிகிறது. அதனால் உண்டாகும் நீர், நீர்ப்பிடிப் பான்களில் தேங்குகின்றது. ஒரு கோளத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ள வாயு அதிக வெப்பத்தை எடுத்துக் கொள்வதால் அக் கோளத்தைச் சுற்றிக் குளிரும் நீராவி அதிகமானதாக இருக்கும். தராசுக்கோலை மறுபடியும் சமன் செய்து, படிந்த நீர்களின் நிறைவேறுபாட்டை நீராவியைச் செலுத்திக்கொண்டு இருக்கும் பொழுதே கணக்கிட வேண்டும்.

வாயு உள்ள கோளத்தைச் சுற்றிக் குளிர்ந்த அதிகமான நீரின் நிறை m கிராம் என்க. அவ் வாயுவின் நிறையை M கிராம் எனவும், நீராவி அறையின் தொடக்க வெப்பநிலையை $\theta_1{}^\circ C$ எனவும், நீராவியின் வெப்பநிலையை $\theta_2{}^\circ C$ எனவும் கொள்வோமேயானல்.

வாயு ஈட்டிய வெப்பம் $= MC_V\,(\theta_2 - \theta_1)$ கலோரிகள்

நீராவி இழந்த வெப்பம் $= mL$ கலோரிகள்.

C_V என்பது வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண்ணுகும். நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் L கலோரி / கிராம் என்போம்,

எனவே,

$$MC_V\,(\theta_2 - \theta_1) = mL$$

எனவே வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண்ணைக் (C_V) கணக்கிடலாம்.

இரு கோளங்களும் எல்லாவிதங்களிலும் ஒத்த பண்பின வாதலால், தராசின் மிதவைத்திறன், கோளங்களின் வெப்ப ஏற்புத் திறன் முதலியவற்ருல் ஏற்படும் பிழைகள் தவிர்க்கப் படுகின்றன. வெப்பநிலை உயர்வினுல், கோளங்கள் சற்றே பருமனில் பெருக்கமடையும். கோளம் செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணும், கோளத்தின் ஆரம்ப வெப்பநிலையும், இறுதி வெப்பநிலையும் தெரியுமேயாயின், இப் பிழைக்கான திருத் தத்தை அளவிட இயலும். சமவெப்ப ஏற்புத்திறன் உடைய கோளங் களாக இல்லாதிருந்தால் வாயுவை அடுத்த கோளத்திற்கும் மாற்றி, சோதனையைத் திரும்பச் செய்தல் வேண்டும்.

(2) வெப்பநிலைகள் $0 \cdot 001°$ டிகிரி துல்லியமாக அளவிடப் பெறுகின்றன.

(3) வெப்பநிலை உயர்வை 3 அல்லது 4 டிகிரிக்குள் இருக்கு மாறு செய்ய இயலும்.

(4) குழாய் முழுவதும் வெற்றிட உறை ஒன்றினுள் வைக்கப் பட்டு உள்ளதால் குளிர்தலுக்கான திருத்தம் மிகவும் குறைவு.

வெப்ப எண் மாறுபாட்டிற்கான காரணக் கூறுகள் (Variation of Specific Heat) : ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் அப் பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்து அமைவதால், வெவ்வேறு பொருள்களின் வெப்ப எண்கள் வெவ்வேறு மதிப்பினைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளினை எடுத்துக்கொண்டாலும் கூட அப் பொருளின் தூய்மை, அதன் வெப்பநிலை முதலானவற்றைப் பொறுத்து வெப்ப எண் மாறுபடும் தன்மையது.

1. ஒரு பொருளின் வெப்ப எண், அதன் தூய்மையைப் பொறுத்து மிகவும் மாறுபடும் தன்மையது. ஒரு பொருளையே பல கூறுகளாகப் பகுப்போமேயாயின், ஒவ்வொரு கூறிலும் தூய்மை விகிதாசாரத்தைப் பொறுத்தே வெப்ப எண் மாறுபடும்.

2. வெப்பநிலையைப் பொறுத்து வெப்ப எண் மாறுபடும். திடப்பொருள்களைப் பொறுத்தவரை வெப்பநிலை உயருமேயானால், அப்பொருள்களின் வெப்ப எண்களும் உயர்வடையும். திடப் பொருள் அதன் உருகுநிலையை அடையும்வரை வெப்பநிலை உயர்வடையுங்கால், அதன் வெப்ப எண்ணின் மதிப்புச் சிறிதளவே உயரும். உருகுநிலையின் அருகில் வெப்பநிலையோடு பொருளின் வெப்ப எண் அதிக அளவில் மாறுபாடெய்தும், பொதுவாக உருகுநிலையைவிட மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையைப் பொருள் உடையதாக இருக்கும்பொழுது, பொருளின் வெப்ப எண் மாறுபாடு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறிய மதிப்பை உடையது. திரவப்பொருள்களைப் பொறுத்தவரை வெப்பநிலை உயருமேயானல் அப் பொருளின் வெப்ப எண்ணும் கணிசமான முறையில் உயர்வடைவதைக் காணலாம். வெப்பநிலையோடு, நீரின் வெப்ப எண் மாறுபடும் விதத்தைப் பார்ன்ஸ் என்பவர் ஆராய்ந்து கண்டறிந்தார் $37 \cdot 5C°$. வெப்பநிலையில் நீரின் வெப்ப எண் மதிப்பு மிகச் சிறியது ஆகும். ரெஞல்டு தன் பரிசோதனைகளின் மூலம், காற்று மற்றும் கிட்டத்தட்ட நிலையான வாயுக்களின் வெப்ப எண்கள், அழுத்தம் மாறுது இருந்தால், மாருமலேயே இருக்கும் எனக் கண்டறிந்தார். ஆனுல்

கார்பன்டைஆக்ஸைடு வாயுவின் வெப்ப எண் வெப்பநிலை உயர்வுக்கு ஏற்ப, உயர்வடைகிறது. பாயிலின் விதியினின்றும் பிறழ்ந்து ஒழுகுகின்ற எல்லா வாயுக்களின் வெப்ப எண்களும் வெப்பநிலை உயர்ந்தால், உயர்வடையும்.

3. ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் அப் பொருள் திடநிலையில் இருக்கிறதா அல்லது திரவநிலையில் இருக்கிறதா அல்லது வாயு நிலையில் இருக்கிறதா என்பதைப் பொறுத்து மாறுபடும் இயல்புடையது. பொதுவாக ஒரு பொருள், திரவநிலையில் இருக்கும் பொழுது கொண்டிருக்கும் வெப்ப எண்ணின் மதிப்பு, அப் பொருள் திடநிலையிலோ அல்லது வாயுநிலையிலோ இருந்தால் கொண்டிருக்கும் வெப்ப எண்ணின் மதிப்பைவிட அதிகமாகும்.

4. கொடுக்கப்பட்ட பொருள் படிகத்தன்மையைக் கொண்டுள்ளதா இல்லையா என்பதைப் பொறுத்தும், அதன் வெப்ப எண் மாறுபடும்.

ட்யூலாங்–பெட்டிட் விதி (Dulong and Petit's Law) : திண்மை நிலையிலுள்ள சாதாரண பொருள்களின் வெப்ப எண்கள் அவற்றின் அணு நிறைகளுக்கு (atomic weight) எதிர்விகிதத்தில் இருக்கின்றன என்றும், வெப்ப எண், அணுநிறை ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் மாறிலியாக இருக்கிறது என்றும் ட்யூலாங், பெட்டிட் என்பவர்கள் 1813ஆம் ஆண்டு கண்டறிந்தனர். இம் மாறிலி அணு வெப்பம் எனப்படுகிறது. கார்பன், போரான், சிலிகன் முதலியவற்றைத்தவிர மற்றத் திடப்பொருள்களுக்கு அணு வெப்பத்தின் மதிப்பு 6·4 ஆகும். கார்பன், போரான், சிலிகன் ஆகியவற்றின் அணு வெப்பம் சாதாரண வெப்பநிலைகளில் 5·6 ஆகவும், உயர் வெப்பநிலைகளில் 6 ஆகவும் உள்ளது.

உள்ளுறை வெப்பம்: ஒரு திடப்பொருளை வெப்பப்படுத்தினால், அதன் வெப்பநிலை உயர்ந்துக்கொண்டே வரும். குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையை அடைந்தவுடன் பொருளின் வெப்பநிலை உயர்வது நின்றுபோகும். மாறாகப் பொருள் திடநிலையில் இருந்து திரவ நிலைக்கு மாற ஆரம்பிக்கும். இவ் வெப்பநிலையைப் பொருளின் உருகுநிலை (melting point)என்கிறோம். உருகுநிலையில் பொருளுக்கு எவ்வளவு வெப்பம் அளிக்கப்பட்டபோதிலும், பொருளின் வெப்ப நிலை உயர்வடையாது. எனவே இவ் வெப்பம் பொருளை நிலை மாற்றம் (change of state) அடையச் செய்யத்தான் பயன்படுத்தப் படுகிறது. இவ் வெப்பத்தை உள்ளுறை வெப்பம் (latent heat) என்கிறோம்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள திடப்பொருளை அதன் உருகுநிலையில், வெப்பநிலையில் மாற்றமடையாது, திரவமாக்கத் தேவையான வெப்பம் அப்பொருளின் 'உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம்' latent heat of fusion) என்று அழைக்கின்றோம்.

ஒரு திரவப் பொருளைச் சூடுபடுத்தினால், அதன் வெப்பநிலை அதிகரித்துக்கொண்டே வரும். குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை ஒன்றை அடைந்தவுடன் அது வாயுநிலைக்கு மாற ஆரம்பிக்கும். இவ் வெப்பநிலையில், திரவத்துக்கு எவ்வளவு வெப்பத்தைக் கொடுத் தாலும் அது அத் திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்தாது. அதை நிலைமாற்றம் அடையச் செய்யத்தான் உதவும். இவ் வெப்பநிலை யைத் திரவத்தின் கொதிநிலை (boiling point) என்கிறோம். கொதி நிலையில் திரவத்துக்கும் அளிக்கப்படும் வெப்பம் உள்ளுறை வெப்பம் ஆகும்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள திரவத்தை அதன் கொதிநிலையில், வெப்பநிலையில் மாறுதலடையாது முழுதும் ஆவியாக்கத் தேவை யான வெப்பம் அத் திரவத்தின் 'ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம்' (latent heat of vapourisation) என்கிறோம்.

பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிடுதல் (Determination of Latent Heat of Fusion of Ice) : $0°C$ வெப்ப நிலையில் உள்ள ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பனிக்கட்டியை அதே வெப்பநிலையில் முழுவதும் நீராக மாற்றத் தேவையான வெப்பம், பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் என்று அழைக்கப் பெறுகிறது.

ஒரு தூய ஈரமற்ற கலோரிமீட்டரின் நிறையை (W_1) கம்பிவலை யுடன் கூடிய அதன் கலக்கியுடன் கணக்கிடவேண்டும். தேவை யான அளவு நீரை கலோரிமீட்டரில் எடுத்துக்கொண்டு அதன் நிறையை (W_2) கண்டுபிடிக்கவேண்டும். நீரை நன்கு கலக்கி, அதன் ஆரம்ப வெப்பநிலையை (t_1°C) ஒரு நுட்பமான வெப்பநிலை மானியால் குறித்துக்கொண்ட பின்னர், சிறுசிறு பனிக்கட்டித் துண்டுகளை மையொற்றும் தாளினால் நன்கு ஒற்றிய பின்னர், அவற்றை நீரினுள் போடவேண்டும். கலவையை நன்கு கலக்கி நீர் அடையும் இறுதிச் சிறும வெப்பநிலையை (t_2°C) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இவ்விறுதி வெப்பநிலை பனிநிலையைவிட (dew point) அதிகமாக இருத்தல் இன்றியமையாதது. பின் கலோரிமானியின் நிறையை (W_3) அளவிடவேண்டும்.

பனிக்கட்டி ஈட்டிய வெப்பம்

$$= (W_3 - W_2)L + (W_3 - W_2) + t_2 \text{ கிலோ கலோரிகள்}$$

கலோரிமானியும், நீரும் இழந்த வெப்பம்

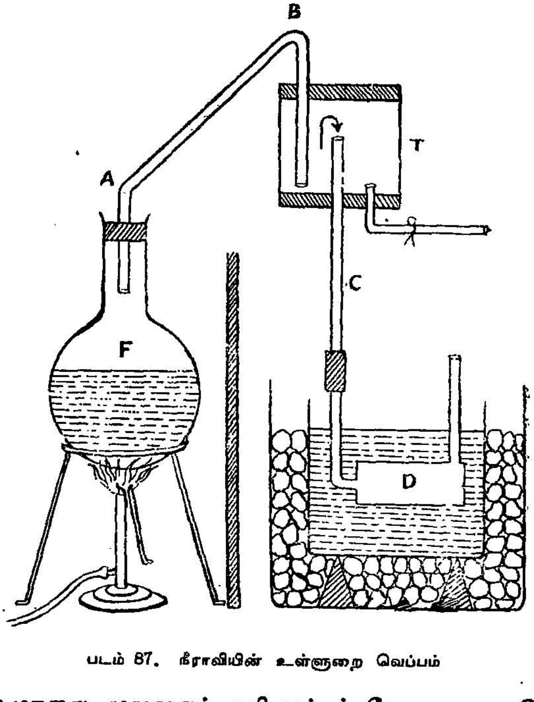
$$= [W_1S + (W_2-W_1)]\,(t_1-t_2) \text{ கிலோகலோரிகள்}$$

$$\therefore \quad (W_3-W_2)\,(L+t_2) = [W_1S + (W_2-W_1)]\,(t_1-t_2)$$

அல்லது, $$L = \frac{[W_1S + (W_2-W_1)]\,(t_1-t_2)}{W_3-W_2} - t_2$$

கலோரிமானி செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் S தெரியுமேயாயின், பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம், (L)ஐ அறிந்துகொள்ளலாம்.

நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் (Latent Heat of Steam) : ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீரை, அதன் கொதிநிலையில் (100°C), வெப்ப



படம் 87. நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம்

நிலையில் மாறுது, முழுவதும் ஆவியாக்கத் தேவையான வெப்பம் நீர் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படும்.

(2) வெப்பநிலைகள் $0 \cdot 001^{\circ}$ டிகிரி துல்லியமாக அளவிடப் பெறுகின்றன.

(3) வெப்பநிலை உயர்வை 3 அல்லது 4 டிகிரிக்குள் இருக்குமாறு செய்ய இயலும்.

(4) குழாய் முழுவதும் வெற்றிட உறை ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டு உள்ளதால் குளிர்தலுக்கான திருத்தம் மிகவும் குறைவு.

வெப்ப எண் மாறுபாட்டிற்கான காரணக் கூறுகள் (Variation of Specific Heat): ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் அப் பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்து அமைவதால், வெவ்வேறு பொருள்களின் வெப்ப எண்கள் வெவ்வேறு மதிப்பினைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளினை எடுத்துக்கொண்டாலும்கூட அப் பொருளின் தூய்மை, அதன் வெப்பநிலை முதலானவற்றைப் பொறுத்து வெப்ப எண் மாறுபடும் தன்மையது.

1. ஒரு பொருளின் வெப்ப எண், அதன் தூய்மையைப் பொறுத்து மிகவும் மாறுபடும் தன்மையது. ஒரு பொருளையே பல கூறுகளாகப் பகுப்போமேயாயின், ஒவ்வொரு கூறிலும் தூய்மை விகிதாசாரத்தைப் பொறுத்தே வெப்ப எண் மாறுபடும்.

2. வெப்பநிலையைப் பொறுத்து வெப்ப எண் மாறுபடும். திடப்பொருள்களைப் பொறுத்தவரை வெப்பநிலை உயருமேயானால், அப் பொருள்களின் வெப்பஎண்களும் உயர்வடையும். திடப்பொருள் அதன் உருகுநிலையை அடையும்வரை வெப்பநிலை உயர்வடையுங்காலை, அதன் வெப்ப எண்ணின் மதிப்புச் சிறிதளவே உயரும். உருகுநிலையின் அருகில் வெப்பநிலையோடு, பொருளின் வெப்ப எண் அதிக அளவில் மாறுபாடெய்தும். பொதுவாக உருகுநிலையைவிட மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையைப் பொருள் உடையதாக இருக்கும் பொழுது, பொருளின் வெப்ப எண் மாறுபாடு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறிய மதிப்பை உடையது. திரவப்பொருள்களைப் பொறுத்தவரை வெப்பநிலை உயருமேயானால் அப் பொருளின் வெப்ப எண்ணும் கணிசமான முறையில் உயர்வடைவதைக் காணலாம். வெப்பநிலையோடு, நீரின் வெப்ப எண் மாறுபடும் விதத்தைப் பார்ன்ஸ் என்பவர் ஆராய்ந்து கண்டறிந்தார். $37 \cdot 5^{\circ}C$ வெப்பநிலையில் நீரின் வெப்ப எண் மதிப்பு மிகச் சிறியது ஆகும். ரெனால்டு தன் பரிசோதனைகளின் மூலம், காற்று மற்றும் கிட்டத்தட்ட நிலையான வாயுக்களின் வெப்ப எண்கள், அழுத்தம் மாறுது இருந்தால், மாறுமலேயே இருக்கும் எனக் கண்டறிந்தார். ஆனால்

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவின் வெப்ப எண் வெப்பநிலை உயர்வுக்கு ஏற்ப, உயர்வடைகிறது. பாயிலின் விதியினின்றும் பிறழ்ந்து ஒழுகுகின்ற எல்லா வாயுக்களின் வெப்ப எண்களும் வெப்பநிலை உயர்ந்தால், உயர்வடையும்.

3. ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் அப் பொருள் திடநிலையில் இருக்கிறதா அல்லது திரவநிலையில் இருக்கிறதா அல்லது வாயு நிலையில் இருக்கிறதா என்பதைப் பொறுத்து மாறுபடும் இயல் புடையது. பொதுவாக ஒரு பொருள், திரவநிலையில் இருக்கும் பொழுது கொண்டிருக்கும் வெப்ப எண்ணின் மதிப்பு, அப் பொருள் திடநிலையிலோ அல்லது வாயுநிலையிலோ இருந்தால் கொண்டி ருக்கும் வெப்ப எண்ணின் மதிப்பைவிட அதிகமாகும்.

4. கொடுக்கப்பட்ட பொருள் படிகத்தன்மையைக் கொண் டுள்ளதா இல்லையா என்பதைப் பொறுத்தும், அதன் வெப்ப எண் மாறுபடும்.

ட்யூலாங்-பெட்டிட் விதி (Dulong and Petit's Law): திண்மை நிலையிலுள்ள சாதாரண பொருட்களின் வெப்ப எண்கள் அவற்றின் அணு நிறைகளுக்கு (Atomic Weight) எதிர் விகிதத்தில் இருக்கின்றன என்றும், வெப்ப எண், அணுநிறை ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் மாறிலியாக இருக்கிறது என்றும் ட்யூலாங், பெட்டிட் என்பவர்கள் 1813ஆம் ஆண்டு கண்டறிந்தனர். இம் மாறிலி அணு வெப்பம் எனப்படுகிறது. கார்பன், போரான், சிலிகன் முதலியவற்றைத்தவிர மற்றத் திடப்பொருள்களுக்கு அணு வெப்பத்தின் மதிப்பு 6·4 ஆகும். கார்பன், போரான், சிலிகன் ஆகியவற்றின் அணு வெப்பம் சாதாரண வெப்பநிலைகளில் 5·6 ஆகவும், உயர் வெப்பநிலைகளில் 6 ஆகவும் உள்ளது.

உள்ளுறை வெப்பம்: ஒரு திடப்பொருளை வெப்பப்படுத்தினால் அதன் வெப்பநிலை உயர்ந்துகொண்டே வரும். குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையை அடைந்தவுடன் பொருளின் வெப்பநிலை உயர்வது நின்று போகும். மாறாகப் பொருள் திடநிலையில் இருந்து திரவநிலைக்கு மாற ஆரம்பிக்கும். இவ் வெப்பநிலையைப் பொருளின் உருகுநிலை [Melting Point] என்கிறோம் உருகுநிலையில் பொருளுக்கு எவ்வளவு வெப்பம் அளிக்கப்பட்டபோதிலும், பொருளின் வெப்பநிலை உயர் வடையாது. எனவே இவ் வெப்பம் பொருளை நிலைமாற்றம் (Change of State) அடையச் செய்யத்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இவ் வெப் பத்தை உள்ளுறை வெப்பம் (Latent Heat) என்கிறோம்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள திடப்பொருளை அதன் உருகுநிலையில், வெப்பநிலையில் மாற்றமடையாது, திரவமாக்கத் தேவையான வெப்பம் அப் பொருளின் 'உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம்' (Latent Heat of Fusion) என்று அழைக்கின்றோம்.

ஒரு திரவப் பொருளைச் சூடுபடுத்தினால், அதன் வெப்பநிலை அதிகரித்துக்கொண்டே வரும். குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை ஒன்றை அடைந்தவுடன் அது வாயுநிலைக்கு மாற ஆரம்பிக்கும். இவ் வெப்ப நிலையில், திரவத்துக்கு எவ்வளவு வெப்பத்தைக் கொடுத்தாலும் அது அத் திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்தாது. அதை நிலைமாற்றம் அடையச் செய்யத்தான் உதவும். இவ் வெப்பநிலையைத் திரவத்தின் கொதிநிலை (Boiling Point) என்கிறோம். கொதிநிலையில் திரவத்துக்கு அளிக்கப்படும் வெப்பம் உள்ளுறை வெப்பம் ஆகும்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள திரவத்தை அதன் கொதிநிலையில், வெப்பநிலையில் மாறுதலடையாது முழுதும் ஆவியாக்கத் தேவையான வெப்பம் அத் திரவத்தின் "ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம்" (Latent Heat of Vapourisation) என்கிறோம்.

பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிடுதல் (Determination of Latent Heat of Fusion of Ice): $0°C$ வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பனிக்கட்டியை அதே வெப்பநிலையில் முழுதும் நீராக மாற்றத் தேவையான வெப்பம், பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் என்று அழைக்கப் பெறுகிறது.

ஒரு தூய ஈரமற்ற கேலரிமீட்டரின் நிறையை (W_1 கிராம்) கம்பிவலையுடன் கூடிய அதன் கலக்கியுடன் கணக்கிடவேண்டும். தேவையான அளவு நீரை கேலரிமீட்டரில் எடுத்துக்கொண்டு அதன் நிறையை (W_2 கிராம்) கண்டுபிடிக்கவேண்டும். நீரை நன்கு கலக்கி, அதன் ஆரம்ப வெப்பநிலையை ($t_1°C$) ஒரு நுட்பமான வெப்பநிலைமானியால் குறித்துக்கொண்ட பின்னர், சிறு சிறு பனிக் கட்டித் துண்டுகளை மையொற்றும் தாளினால் நன்கு ஒற்றிய பின்னர், அவற்றை நீரினுள் போடவேண்டும். கலவையை நன்கு கலக்கி, நீர் அடையும் இறுதிச் சிறும வெப்பநிலையை ($t_2°C$) குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவ்விறுதி வெப்பநிலை பனிநிலையை (dew point) விட அதிகமாக இருத்தல் இன்றியமையாதது. பின் கலோரிமானியின் நிறையை (W_3 கிராம்) அளவிடவேண்டும்.

பனிக்கட்டி ஈட்டிய

வெப்பம் $= (W_3 - W_2)\, L + (W_3 - W_2) + t_2$ கலோரிகள்

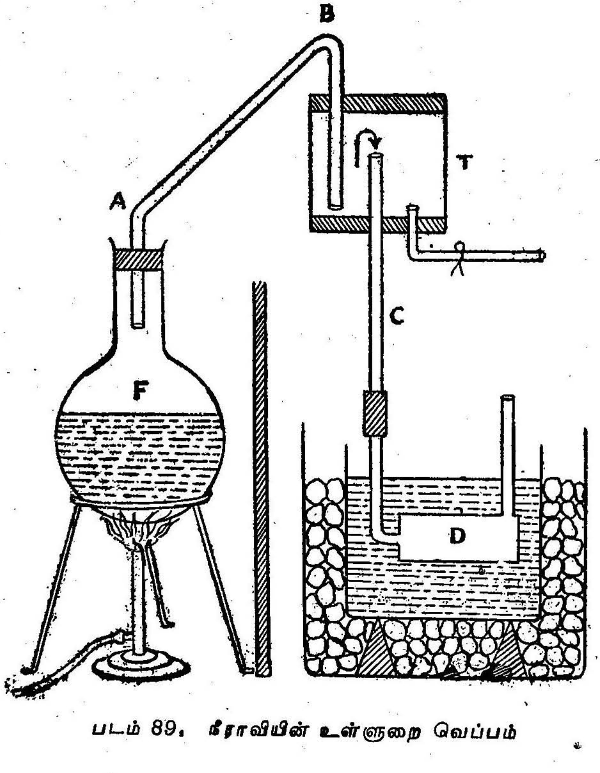
கலோரிமானியும், நீரும் இழந்த
வெப்பம் $= [W_1 S + (W_2 - W_1)] (t_1 - t_2)$ கலோரிகள்

$$\therefore (W_3 - W_2)(L + t_2) = [W_1 S + (W_2 - W_1)] (t_1 - t_2)$$

அல்லது, $L = \dfrac{[W_1 S + (W_2 - W_1)] (t_1 - t_2)}{W_3 - W_2} - t_2$

கலோரிமானி செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் S தெரியுமேயாயின், பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம், (L)ஐ அறிந்துகொள்ளலாம்.

நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் (Latent Heat of Steam): ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீரை, அதன் கொதிநிலையில் $(100°C)$,



படம் 89. நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம்

வெப்பநிலையில் மாறுது, முழுதும் ஆவியாக்கத் தேவையான வெப்பம் நீர் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படும்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீராவி, 100°C வெப்பநிலையில், வெப்பநிலை மாற்றம் எய்தாது. முழுதும் நீராகக் குளிரும் பொழுது, வெளிவிடும் வெப்பம், நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் என்றழைக்கப்படுகிறது.

நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காண்பதற்குப் பயன் படுத்தப்படும் நீராவி, தூய்மையாக, நீர்த்திவலைகள் அற்றதாக இருத்தல்வேண்டும். இதற்காக நீர் ஒரு பெரிய குடுவையில் சூடுபடுத்தப்படுகிறது. குடுவையை ஒரு துளையுள்ள அடைப்பானுல் மூடி துளையின் வழியே AB என்ற வளைந்த குழாயைச் செருகி யுள்ளோம். நீராவி ABயைக் கடக்கும்பொழுது, அங்குக் குளிர்வதால் உருவாகும் நீர்த்திவலைகள், AB சரிவாக இருப்பதால் திரும்பவும் குடுவையையே வந்தடையும். இக் குழாய் ஒரு நீர்நீக்கியுடன்(Water Irap) இணைக்கப்பட்டு உள்ளது. இப் பகுதியில் குளிர்வடையும் நீர் அதனடியில் உள்ள துவாரத்தின் வழியாக வெளியேறிவிடும். சுத்தமான ஈரப்பசை அற்ற நீராவி C என்ற குழாயின் வழியே கலோரிமானியில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட நீரினுள் செலுத்தப்பட வேண்டும்.

சோதனையில் பயன்படுத்தப்படுகின்ற நீராவியின் நிறையைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட, நீராவியை நீரினுள் நேராகச் செலுத்தாது கலோரிமானியில் உள்ள நீரினுள் அமிழ்த்தி வைக்கப்பட்டுள்ள வடிகலத்தின் (Condenser) வழியாக நீராவியைச் செலுத்த வேண்டும். இவ் வடிகலம், நீராவி உள்ளே நுழையவும், வெளி யேறவும் திறப்புகளை உடைய ஓர் உருளைவடிவ உலோகக் கலமாகும்.

வடிகலம், கலக்கி ஆகியவற்றுடன் கூடிய தூய, ஈரமற்றக் காலியான கலோரிமானியின் நிறையை (W_1 கிராம்) முதலில் துல்லியமாக அளவிடவேண்டும். கலோரிமானியுள், வடிக்கலத்தை மூழ்கவைக்கத் தேவையான அளவு நீரை எடுத்துக் கொண்டு அதன் நிறையை (W_2 கிராம்) மீண்டும் காணவேண்டும். நீரை நன்கு கலக்கி, அதன் ஆரம்ப வெப்பநிலையை (t_1°C) ஒரு நுட்பமான வெப்பநிலைமானியின் உதவியால் குறிக்கப்பெறுகிறது. பின்னர் வடிகலத்தின் வழியாகத் தூய நீராவியைச் செலுத்த வேண்டும். நீரை நன்கு கலக்கி, அதன் வெப்பநிலை சுமார் 5°C உயர்ந்த பின்னர், நீராவியை நிறுத்திவிடுதல்வேண்டும். குளிர் வுக்கான திருத்தத்துடன் நீரின் இறுதி வெப்பநிலை t_2°Cயை அளவிட்ட பின்னர் கலோரிமானியின் நிறையை (W_3 கிராம்) இறுதி யாகக் காண்கின்ரேம். நீராவியின் வெப்பநிலையை t_3°C எனவும்,

நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தை L கலோரி/கிராம் எனவும் கொள்வோம். வடிக்கலத்தின் நிறை m கிராம் என்க.

நீராவி இழந்த வெப்பம் $= (W_3 - W_2) L + (W_3 - W_2)(t_3 - t_2)$

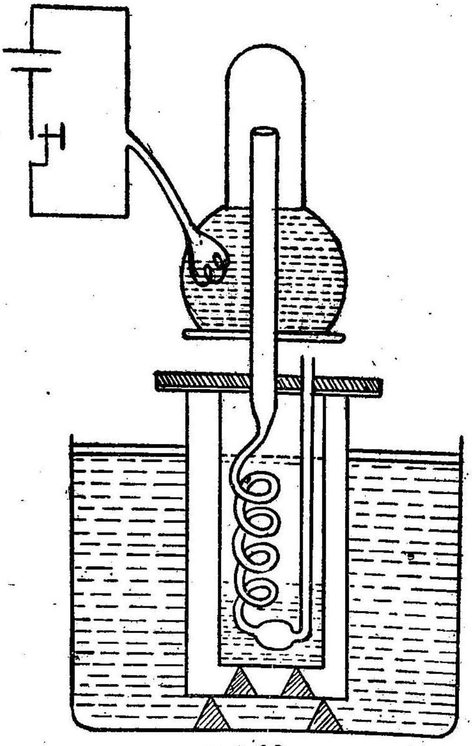
கலோரிமானியும், நீரும் ஈட்டிய

வெப்பம் $= [W_1 S + (W_2 - W_1)](t_2 - t_1)$

$$\therefore (W_3 - W_2)(L + t_3 - t_2) = [W_1 S + (W_2 - W_1)](t_2 - t_1)$$

கலோரிமானி செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் Sஐ அறிவோமேயானால் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் Lஐக் கணக்கிட்டறியலாம்.

பெர்த்தலாட் முறை (Berthelot's Method): இம் முறையில் கொதிகலன் R-ல் வைக்கப்பட்டு உள்ள நீர், வளைய எரிசூடேற்றி



படம் 90.

யாலோ (Ring Burner) அல்லது நீரினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள

மெல்லிய கம்பியின் வழியாக மின்சாரத்தைச் செலுத்துவதன் மூலமாகவோ, சூடேற்றப்படுகிறது. இக் கொதிகலத்தின் வெளியேற்றுக் குழாய் கொதிகலத்தின் அடித்தளம் வழியாகச் செல்கிறது. பிரித்தெடுக்கப்பட்ட வசதியான உலோகச் சுருள் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள வடிக்கலனைக் கொண்ட கலோரிமானி கொதிகலனின் நேர்கீழே வைக்கப்பட்டுள்ளது. கொதிகலனில் இருந்து நேரிடையாகக் கலோரிமானியை வெப்பம் அடைவதைத் தடுக்க இவை இரண்டுக்கும் இடையே ஓர் எபொனைட் பலகை வைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. மேலும் கேலரி மீட்டர் ஓர் உறைக்குள் அரிதில் கடத்திகளின்மேல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த முறையில் நீராவி கலோரிமீட்டரை அடையும் வரை அதன் கொதிநிலையிலேயே உள்ளது. கலோரிமானிக்கு வெளியே நீராவிக் குளிர்ந்துவிடுதல் மிகவும் குறைக்கப்பட்டுவிடுகிறது. மேலும் பரிசோதனைக்கு முன்னும் பின்னும் வடிக்கலத்தின் நிறையை அளவிடுவதன் மூலமாகச் சோதனைக்குப் பயன்பட்ட சிறிதளவு நீராவியின் நிறையையும், துல்லியமாக அளவிட இயலும்.

கேலரிமீட்டரின் நிறையையும் (W_1 கிராம்), வடிக்கலத்தின் நிறையையும் (W_2 கிராம்) தனித்தனியே கண்டறிந்த பின்னர், கலோரிமீட்டருள் தேவையான அளவு நீர் (W_3) எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. நீரை நன்கு கலக்கி, அதன் ஆரம்ப வெப்ப நிலையை ($t_1°C$) துல்லியமாக அளவிடவேண்டும். உலர்ந்த நீராவியை வடிக்கலத்தினுள், நீரின் வெப்பநிலை $5°C$ உயரும்வரை செலுத்தவேண்டும். கேலரிமீட்டரை நன்கு கலக்கி, அதன் பெரும வெப்பநிலையைக் ($t_2°C$) கணக்கிடவேண்டும். வடிக்கலத்தின் நிறையைச் சோதனைக்கு முன்னும் பின்னும் காணுவதன் மூலம் அதில் நீராக மாறிய நீராவியின் நிறையை (m கிராம்) அறிதல் இயலும். நீராவியின் வெப்பநிலை ($t_3°C$) எனவும், அதன் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும் கொள்வோமேயாயின்,

$$mL + m(t_3 - t_2) = (W_1 S_1 + W_2 S_2 + W_3)(t_2 - t_1)$$

கலோரிமானியின் வெப்ப எண் S_1, வடிக்கலனின் வெப்ப எண் S_2 ஆகியவை தெரியப்பெறுமேயாயின், நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தை எளிதில் கணக்கிடலாம்.

நீராவியின் முழு வெப்பம் (Total Heat of Steam): இயல்பான அழுத்தத்தில் எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு திரவம் கொதிக்கின்றதோ, அந்த வெப்பநிலையை இயல்பான (Normal Boiling Point) கொதிநிலை என்று கூறுகிறோம். மேலும் திரவத்தின் இயல்பான கொதிநிலையில் தெவிட்டு ஆவியின் அழுத்தமும்,

இயல்பு அழுத்தமும் சமமாகும். ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம், குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் மாறிலி எனினும், வெப்ப நிலையோடு உயர்வடையும் தன்மையது. எனவே எந்த வெப்ப நிலையிலும், ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமமான அழுத்தத்தை அத் திரவத்திற்குக் கொடுத்தால், அந்த வெப்பநிலையில் அது கொதிக்கும். எனவே ஒரு திரவத்தை எந்த வெப்பநிலையிலும் அதன்மேல் அளிக்கப்படும் அழுத்தத்தைப் பொறுத்துக் கொதிக்க வைக்கலாம். ஆகையால் எந்த வெப்ப நிலையிலும் ஒரு திரவத்தின் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தை வரையறுத்தல் வேண்டும். ஒரு வெப்பநிலையில் ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமமான அழுத்தத்தில் உள்ள ஒரு கிராம் நிறையுள்ள அத் திரவத்தை அதே வெப்பநிலையில் தெவிட்டு ஆவியாக்கத் தேவையான வெப்பமே அவ் வெப்ப நிலையில் அத் திரவத்தின் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனக் கூறுதல் வேண்டும். எனவே வெப்பநிலையோடு, வாயுவின் உள்ளுறை வெப்பம் எத் தொடர்புடையது என்று அறிதல் அவசியம்.

எந்த வெப்பநிலையிலும் ($t°C$) ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவியின் முழுவெப்பம் எனப்படுவது, $0°C$ வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு கிராம் நிறையுள்ள அத் திரவத்தை $t°C$ வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தி அந்த $t°C$ வெப்பநிலையில் அத் திரவத்தை அதன் தெவிட்டு ஆவியாக மாற்றுவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பமாகும். முழு வெப்பத்தைப் பற்றியும், உள்ளுறை வெப்பத்தைப் பற்றியும் இருவிதமான கொள்கைகள் நிலவி வந்தன.

(1) நீராவியின் முழுவெப்பம் வெப்பநிலையைப் பொருத்து மாறுவதில்லை என்று வாட் என்பார் முடிவு செய்தார். இது வாட் விதி (Watt's Law) எனப்படும்.

(2) நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் வெப்பநிலையைப் பொருத்து மாறுபடுவதில்லை என்றும், ஆனால் முழுவெப்பம் வெப்ப நிலையைப் பொருத்து மாறுபடும் என்றும் கிரெய்ட்டன், சதர்ன் (Creighton Southern) என்பவர்கள் கண்டறிந்தனர். இது சதர்ன் விதி என்று அழைக்கப்படும்.

ஆனால் நீராவியின் முழு வெப்பத்தைப் பல்வேறு வெப்பநிலை களில் ரெனால்டு என்பவர் கணக்கிட்டு, இவ்விரு விதிகளுமே சரியல்ல என்று நிறுவினார்.

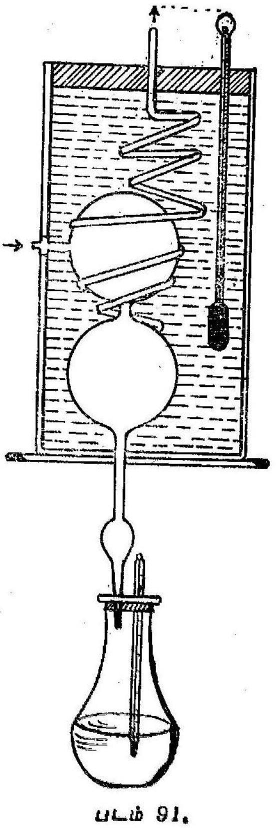
ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் நீராவியின் முழு வெப்பம் என்பது 1 கிராம் நீரை $0°C$ வெப்பநிலையில் இருந்து அவ் வெப்ப

நிலைக்கு உயர்த்தி அந்த வெப்பநிலையில் அதனைத் தெவிட்டு ஆவியாக மாற்றுவதற்குத் தேவைப்படும் மொத்த வெப்பமாகும்.

$\theta°C$ வெப்பநிலையில் நீராவியின் முழுவெப்பம் $Q\,\theta$ எனவும், அதன் உள்ளுறை வெப்பம் $L\theta$ எனவும் கொண்டால்,

$$Q\theta = \theta + L\theta$$

ரெனால்டின் சோதனை (Regnault's Experiment): ரெனால்டின் கருவி, ஒரு கேலரிமீட்டருள் உள்ள நீரில் அமிழ்ந்துள்ள ஒன்றோடொன்று தொடர்புடைய இரு செப்புக் கோளங்களை உடையது. நீராவி முதலில் மேலேயுள்ள செப்புக் கோளத்தை அடைந்து பின் கீழேயுள்ள செப்புக் கோளத்திற்குள் இறங்கி, மேல் செப்புக் கோளத்தைச் சுற்றி அமைக்கப்பட்டுள்ள வடிக் கலனின் வழியாகவும் செல்லும். கோளங்களில் நீராவி குளிர்தலால் உருவாகும் நீர், ஒரு சிறு துவாரத்தின் வழியாக வெளியே எடுக்கப்பட்டு எடை யிடப்படுகிறது. வடிக்கலனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள அழுத்தமானி வாயிலாக நீராவியின் அழுத்தத்தை நேரிடையாக அறிய இயலும்.



படம் 91.

கலவை முறையில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. 0·2 வளி அழுத்தத்தில் இருந்து 13·6 வளி அழுத்தம்வரை அழுத்த வேறுபாடுகளை உண்டாக்கி, வெவ்வேறு கொதிநிலைகளில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் கணக்கிடப்படுகிறது. ஓர் அழுத்தத்திற்கு உரிய கொதிநிலை $\theta°C$ எனவும், $\theta°C$ வெப்பநிலையில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும் கொண்டால்,

$0°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு கிராம் நீரின் வெப்பநிலையை $\theta°C$ க்கு உயர்த்தத் தேவையான வெப்பம் $= 1 \times \theta = \theta$ கலோரி.

$\theta°C$ வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு கிராம்
நீரை அதே வெப்பநிலையில் தெவிட்டு
ஆவியாக்கத் தேவையான வெப்பம் $= 1 \times L = L$ கலோரி

$$\therefore\ \theta°C \text{ வெப்பநிலையில் நீராவியின் முழு வெப்பம்} = Q = \theta + L$$

முழு வெப்பம் Qவைக் காண ரெனல்டு கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டை நிறுவினர். அதாவது,

$$Q = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,\theta \qquad \ldots (1)$$

எனவே $\theta + L = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\,\theta$

$$L = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695\,\theta \qquad \ldots (2)$$

முதல் சமன்பாட்டில் இருந்து, வெப்பநிலை θ உயர்வடைந்தால் முழு வெப்பமும் உயர்வடையும் என்பது விளங்குகிறது. எனவே வாட்டின் (Watt) கருத்து தவறானது என்பது புலப்படும். மேலும் கொதிநிலை உயர்வடைந்தால், உள்ளுறை வெப்பம் குறைவு எய்து கிறது என்று இரண்டாம் சமன்பாட்டில் இருந்து பெறப்படுகிறது. இதிலிருந்து சதர்ன் விதியும் பிழையானது என்பது நன்கு தெரியும். மேலே கூறப்பட்ட சமன்பாட்டில் இருந்து $100°C$ வெப்பநிலையில் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிட இயலும்.

$$L_{100} = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695 \times 100$$
$$= 606{\cdot}5 - 69{\cdot}5 = 537 \text{ கலோரி/கிராம்.}$$

மேலும் $t°C$ வெப்பநிலையில் உள்ளுறை வெப்பத்தின் மதிப்பு O எனக் கொள்வோமேயாயின்,

$$L = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695\,\theta$$
$$O = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}695\,t$$
$$\therefore \quad t = \frac{606{\cdot}5}{0{\cdot}695} = 872°C$$

எனவே $872°C$ வெப்பநிலையில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் சுழியாகிறது. எனினும் பரிசோதனைகள் வாயிலாக, நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் $390°C$ வெப்பநிலையிலேயே சுழியாகிறது என நிறுவப்பட்டுள்ளது.

நீராவியின் அக உள்ளுறை வெப்பமும், புற உள்ளுறை வெப்பமும் (Internal And External Latent Heats of Steam):

நீர் ஆவியாக நிலைமாற்றம் அடையும்பொழுது அதன் பருமனில் ஏராளமான பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. வெளி அழுத் தத்தை எதிர்த்துப் பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்துப் பெருக்கம் நிகழ்வதால், ஆவியால் வேலை செய்யப்படுதல் வேண்டும். ஒரு கிராம் நீரை அதன் கொதிநிலையில் ஆவியாக மாற்றக் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி வெளி அழுத்தத் திற்கு எதிராக வேலை செய்து பருமனை அதிகரித்துக்கொள்ளவும், எஞ்சிய பகுதி அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்தவும் பயன்படுகிறது. பருமனைப் பெருக்கப் பயன்படும் வெப்பத்தின் அளவு புற உள்ளுறை வெப்பம் எனவும், உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரிக்கப் பயன்படும் வெப்பம் அக உள்ளுறை வெப்பம் எனவும் அழைக்கப்பெறும்.

$100°C$ வெப்பநிலையில் 1 கிராம் நிறையுள்ள நீரின் பருமன் கிட்டத்தட்ட 1 க.செ.மீ. ஆகும். ஒரு வளிமண்டல அழுத்தத்தில் நீர்க் கொதிக்கும்பொழுது கிடைக்கும் நீராவியின் பருமன் 1647 க.செ.மீ. ஆகும்.

∴ பருமப் பெருக்கத்தின்போது

செய்யப்படும் வேலை (W) = வளிமண்டல அழுத்தம் × பருமப் பெருக்கம்.

$$\therefore W = (76 \times 13{\cdot}6 \times 980) \times 1647$$

$$= 1{\cdot}67 \times 10^9 \text{ எர்க்.}$$

எனவே தேவைப்படும் வெப்பம் $= H = \dfrac{W}{J}$

$$= \frac{1{\cdot}67 \times 10^9}{4{\cdot}2 \times 10^7} = 39{\cdot}7 \text{ கலோரி}$$

அதாவது, புற உள்ளுறை வெப்பம் = 39·7 கலோரி/கிராம்.

எனவே அக உள்ளுறை வெப்பம் = 539 — 39·7

= 499·3 கலோரி/கிராம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) ஒரு சிறுவன் $0°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள 150 கிராம் பனிக் கட்டியை 7 நிமிடங்களில் சாப்பிடுகிறுன் எனில், அவன் செல விடும் ஆற்றல் திறனைக் கணக்கிடுக.

[மனித தேகத்தின் வெப்பநிலை $98{\cdot}4°F$; பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கலோரி/கிராம்.

[$1\ H{\cdot}P = 746$ வாட்டுகள்]

தேகத்தின் வெப்பநிலை $= 98{\cdot}4°F$

$$= (98{\cdot}4 - 32)\,5/9\ °C$$

$$= 36{\cdot}9°C.$$

150 கிராம் பனிக்கட்டியை $0°C$ வெப்பநிலையில் நீராக மாற்றத் தேவையான வெப்பம் } $= 150 \times 80$ கலோரி.

$0°C$ வெப்பநிலையில் உள்ள அந்த நீரை $36{\cdot}9°C$க்கு உயர்த்தத் தேவையான வெப்பம் } $= 150 \times 36{\cdot}9$ கலோரி.

∴ தேவையான மொத்த வெப்பம் } $= 150 \times 80 + 150 \times 36{\cdot}9$

$= 150 \times 116{\cdot}9$ கலோரி.

சிறுவன் ஒரு விநாடியில் செலவிடும் வெப்பம் } $= \dfrac{150 \times 116{\cdot}9}{7 \times 60}$

$= 41{\cdot}75$ கலோரி.

வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றுப்படி,
1 கலோரி $= 4{\cdot}2$ Joule, ஜூல்.

சிறுவன் 1 விநாடியில் செலவிடும் ஆற்றல் $= 4{\cdot}2 \times 41{\cdot}75$ Joule

∴ செலவிடப்படும் ஆற்றல் திறன் $= 41{\cdot}75 \times 4{\cdot}2$ வாட்டுகள்

$$= \frac{41{\cdot}75 \times 4{\cdot}2}{746}\ H.\,P.$$

$$= 0{\cdot}2351\ H.\,P.$$

(2) 100 கிராம் நிறையுள்ள தாமிர கலோரிமானியில் $1{\cdot}2$ ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள 200 க.செ.மீ. திரவம் உள்ளது. திரவத்தின் வெப்ப எண் $0{\cdot}8$ ஆகும். அதன் வெப்பநிலை சுற்றுப்புறத்தின் வெப்பநிலையைவிட $40°C$ அதிகமாக இருக்கும்பொழுது அது நிமிடத்திற்கு $2°$ வீதம் குளிர்வடைகிறது. இத் திரவத்தை வெளியில் கொட்டிவிட்டு, அதே அளவு மற்றொரு திரவம் கலோரிமானியினுள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. இதன் ஒப்படர்த்தி $0{\cdot}9$.

இதன் வெப்பநிலை சுற்றுப்புற வெப்பநிலையைவிட $30°C$ உயர்வாக உள்ளபொழுது, இது நிமிடத்திற்கு 3° வீதம் குளிர்வடைகிறது. இத் திரவத்தின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிடுக.

முதல் திரவத்தின் நிறை $= 200 \times 1{\cdot}2 = 240{\cdot}0$ கிராம் திரவமும், கலோரிமானியும் நிமிடத்திற்கு 2° வீதம் வெப்பநிலை குறைவு படுதலால் அவை வெப்பத்தை இழக்கும் வீதம்,

$$= 200 \times {\cdot}8 \times 2 + 100 \times {\cdot}1 \times 2$$

$= 340$ கலோரி / நிமிடம்.

நியூட்டனின் குளிர்தல் விதிப்படி,

340 கலோரி/நிமிடம் $\propto 40$. ... (1)

இரண்டாவது திரவத்தின் நிறை $= 200 \times 0{\cdot}9 = 180$ கிராம். திரவமும், கலோரிமானியும் 3° வீதம் வெப்பநிலைக் குறைவு எய்துதலால் அவை வெப்பத்தை இழக்கும் வீதம்,

$$= 200 \times x \times 3 + 100 \times {\cdot}1 \times 3$$

$= 600\,x + 30$ கலோரி/நிமிடம்.

நியூட்டனின் குளிர்தல் விதிப்படி,

$600\,x + 30 \propto 30$. ... (2)

முதல் சமன்பாட்டை இரண்டாம் சமன்பாட்டால் வகுக்க,

$$\frac{340}{600\,x + 30} = \frac{40}{30}$$

$$\therefore x = {\cdot}375$$

6. நிலை மாற்றம்

(Change of State)

ஒரு பொருள் திடநிலை, திரவநிலை, வாயுநிலை என்ற மூன்று நிலைகளை உடையது. வெப்பத்தை வெளியில் விட்டுவிடுவதனாலோ அல்லது வெளியிலிருந்து உட்கவர்ந்து கொள்வதனாலோ ஒரு பொருளை அதன் நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்கு மாற்ற இயலும். இயக்கவியற் கொள்கைப்படி, ஒரு பொருளின்கண் உள்ள மூலக்கூறுகளின் இயக்கநிலையே, இம் மூன்று நிலைகளையும் வேறுபடுத்திக் காட்டவல்லது. திடநிலையில் பொருளின் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையே விளங்கும் ஈர்ப்பு விசை மிக அதிகமாதலால் இம் மூலக்கூறுகள் தன்னிச்சையாக இயங்க முடியாது. அவைகள் குறிப்பிட்ட நிலைகளிலேயே இருந்து அலையும் தன்மை வாய்ந்தவை. திரவ நிலையில் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசைகள் குறைவு. எனவே அவைகள், தன்னிச்சையாக ஆனால் குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் அலைந்து கொண்டிருக்கும். திரவ மூலக்கூறுகளைவிட, வாயு நிலையில் உள்ள மூலக்கூறுகள் அவற்றினிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையினின்றும் விடுபட்டு, அங்குமிங்கும் மிகுந்த வேகத்துடன் இயங்கவல்லன. ஒரு திடப் பொருளைத் திரவமாகவோ அல்லது ஒரு திரவத்தை ஆவியாகவோ மாற்றும்பொழுது அளிக்கப்படுகின்ற வெப்பம் ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக மூலக்கூறுகளை விடுவிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

உருகு நிலை (Fusion): மாறுத அழுத்தத்தில் படிகத் தன்மையைக் கொண்ட ஒரு திடப்பொருள், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் திட நிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்கு மாற்றமடையும். அந்த வெப்பநிலை அப் பொருளின், அக் குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் உருகு நிலை எனப்படும். இவ் வெப்பநிலையில் கொடுக்கப்பட்ட அழுத்த நிலையில், திடப்பொருளும் திரவமும் சம நிலையில்

(equilibrium) இருக்கும். குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் எந்த வெப்ப நிலையில் ஒரு திரவம் திடப்பொருளாக மாறத் துவங்குகிறதோ, அந்த வெப்பநிலையை அத் திரவத்தின் உறைநிலை என்கிறோம். நாப்தலின், ஈயம் போன்ற படிகத்தன்மை உடைய பொருள் களுக்கு உருகு நிலையும் உறைநிலையும் ஒன்றே. ஆனால் மெழுகு, கண்ணாடி போன்ற படிகத்தன்மையற்ற பொருள்களுக்கு உருகு நிலை உறைநிலையைவிடக் குறைவாக இருக்கும். உருகுநிலைக்கும், உறைநிலைக்கும் இடைப்பட்ட வெப்பநிலையில் பொருள் பிளாஸ்டிக் (Plastic) நிலையிலிருக்கும்.

பொதுவாக ஒரு பொருள் உருகும்பொழுது அதன் பருமனில் மாற்றம் ஏற்படும். பெரும்பாலான பொருள்கள் உருகுங்காலை பெருக்கமடைகின்றன. ஆனால் நீர், பிஸ்மத், ஆண்டிமனி, வார்ப்பிரும்பு முதலிய பொருட்கள் உறையுங்காலை பெருக்கம் எய்துகின்றன. உறையும்பொழுது பரும விரிவு ஏற்படுதலின் விளைவாகப் பேரளவு விசைகள் உருவாகின்றன. குளிர் நாடுகளில், நீர்ப் பம்புகள் குளிர்காலத்தில் உடைந்து விடுவதற்கு இவ் விசை களே காரணம்.

உருகுநிலை விதிகள் : 1. ஒரு திடப்பொருள் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் உருகத் துவங்குகிறது. அழுத்தம் மாறாது இருந் தால், இவ் வெப்பநிலையும் மாறாததாக இருக்கும். இவ் வெப்ப நிலையைப் பொருள்களின் உருகுநிலை என்கிறோம்.

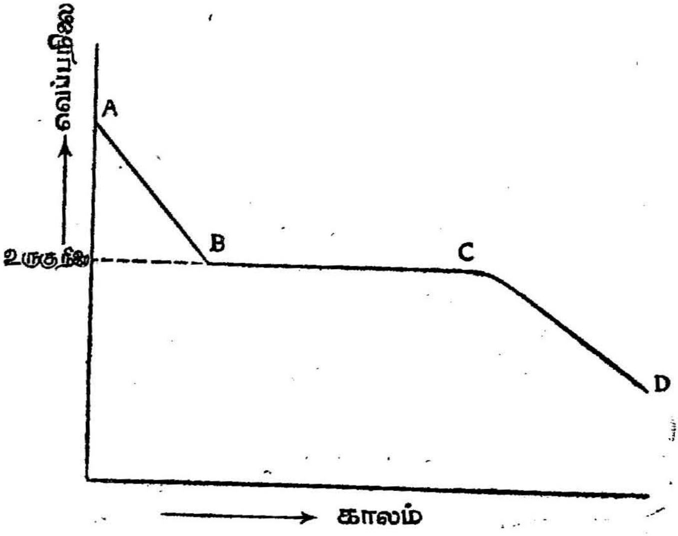
2. பொருள் உருகும்பொழுது வெப்பநிலை மாறாமலேயே நிலையாக இருக்கும்.

3. திடநிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்கு மாறும்பொழுது, உருகு நிலையில் ஒவ்வொரு கிராம் திடப்பொருளும் அதன் உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தை எடுத்துக் கொள்ளும்.

4. நாப்தலின் போன்ற பொருள்கள் உருகும்பொழுது விரிவடைகின்றன். பனிக்கட்டி போன்ற பொருள்கள் உருகும் பொழுது சுருங்குகின்றன.

ஒரு பொருளின் உருகு நிலையைக் கணக்கிடுதல். (a) குளிர்வு கோடு முறை (Cooling Curve Method): படிகத்தன்மையைக் கொண்ட நாப்தலின் போன்றதொரு பொருள் ஒரு சோதனைக் குழாயில் வைக்கப்பட்டு, முழுவதும் உருகும்வரை சூடு படுத்தப்படுகிறது. பின் ஒரு சோதனைக் குழாயைக் காலியான முகவையினுள் வைத்து ஒரு வெப்பநிலைமானியை அதன்

குமிழ் திரவத்தினுள் மூழ்கி இருக்குமாறு செருகப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு அரை நிமிடத்துக்கும் வெப்பநிலைமானி காட்டும் அளவீடுகளைப் பதிவு செய்துகொள்ள வேண்டும். பொருள் முழுதும் திடப்பொருளாக மாறும்வரை அளவீடுகளைக் குறித்தல் அவசியம். இவற்றைத் தொடர்புபடுத்தி ஒரு வரைப்

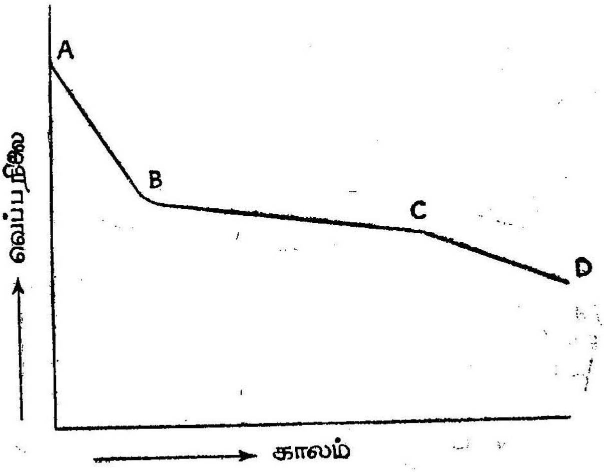


படம் 92.

படம் வரையவேண்டும். வரைப்படத்தில் BC என்ற கிடை கோட்டுப் பகுதிக்கு உரிய மாருத வெப்பநிலையே பொருளின் உருகுநிலையாகும். எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட பொருள் படிகத் தன்மை அற்றதாக இருந்தால் BC என்பது கிடைகோடாக இருக்காது. படத்தில் B என்ற புள்ளிக்கு உரிய வெப்பநிலை பொருளின் உறைநிலையையும், C என்ற புள்ளிக்கு உரிய வெப்ப நிலை அதன் உருகுநிலையையும் குறிக்கும்.

ஒளிபுகு தன்மை மாறுதல் முறை: பொதுவாக எந்த ஒரு பொருளும், திடநிலையில் ஒளிபுகாத் தன்மையையும் திரவ நிலையில் ஒளிபுகும் தன்மையும் உடையதாக விளங்கும். கொடுக்கப் பட்ட பொருளை ஒரு நுண்துளைக் குழாயில் எடுத்துக்கொண்டு, குழாயுடன் ஒரு வெப்பநிலைமானியையும் இணைத்துக் கொள்ள வேண்டும். இரண்டையும் ஒரு நீர்த்தொட்டியினுள் வைத்து, தொட்டியைச் சூடேற்றவேண்டும். பொருளின் ஒளிபுகாத் தன்மை மறைந்து ஒளி புகும் தன்மை ஏற்படும்பொழுது, வெப்பநிலைமானி

காட்டும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். தொட்டியை இனிக் குளிரச் செய்வோமேயானல் ஒளிபுகும் தன்மை மறைந்து ஒளிபுகாத் தன்மை உருவாகும்பொழுது வெப்ப நிலைமானி காட்டும்



படம் 93.

அளவீட்டைப் பதிவு செய்து கொள்ளவேண்டும். இவ்விதம் குறிக்கப்பட்ட இரு வெப்பநிலைகளின் சராசரி மதிப்பு, பொருளின் உருகுநிலையாகும்.

ஆவியாதல் (Evoporation): எல்லா வெப்பநிலைகளிலும், ஒரு பொருள், திரவ நிலையிலிருந்து வாயு நிலைக்கு, திரவத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து மாறுபாடு எய்துவதை ஆவியாதல் என்று அழைக்கிறோம். திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்துவதனலும் திரவத்தின் மேற்பரப்பை அதிகரிப்பதாலும், காற்று வீசுவதாலும் ஆவியாதலின் வீதத்தை அதிகரிக்கச் செய்தல் இயலும்.

வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ள ஒரு கலத்தினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு திரவத்தைக் கருத்திற்கொள்வோம். இயக்கவியற் கொள்கைப்படி திரவத்தினுள் மூலக்கூறுகள் தன்னிச்சையாக அங்குமிங்கும் மிகுந்த வேகத்துடன் அலையும் இயல்பு வாய்ந்தவை. ஒரு மூலக்கூறு, திரவத்தின் உட்பகுதியில் இருக்கும்பொழுது அது எல்லா திசைகளிலும் சமமாக ஈர்க்கப்படுகிறது. எனவே அம் மூலக்கூறின் மேல் தொகு ஈர்ப்பு விசை எதுவும் செயற்படாது. ஆனல் திரவத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகள், கீழேயுள்ள மூலக்கூறுகள் அளிக்கும் ஈர்ப்பு விசையின் காரணமாக, திரவத்

தினுள் ஈர்க்கப்படுகின்றன. இவ் வீர்ப்பு விசையை எதிர்த்துத் திரவத்தின் மேற்பரப்பினின்றும் வெளியேறும் மூலக்கூறுகள் போதிய ஆற்றல் உடையனவாக இருத்தல்வேண்டும். பேராற்றலை உடைய, மிக வேகமாக இயங்குகின்ற மூலக்கூறுகள், கீழ்நோக்கிச் செயற்படும், இழுவிசைகளினின்றும் விடுபட்டுத் திரவத்தினின்றும் வெளியேறும். மேலும், மேலும் வெற்றிடத்தை வந்தடைகின்ற மூலக்கூறுகள் கலத்தின் சுவர்களுடன் மோதுவதால் சுவர்களின் மேல் அதிக அழுத்தத்தை விளைவிக்கின்றன. மேலும் இம் மூலக் கூறுகள் ஒன்ருேடு ஒன்றும், திரவத்தின் மேற்பரப்பின் மீதும் மோதும் இயல்புடையன. திரவத்தின் மேற்பரப்பின் மேல் மோது கின்ற மூலக்கூறுகளைத் திரவமே கிரகித்துக் கொள்ளும். வெற்றிடத்தை வந்தடைகின்ற மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை உயர உயர திரவம் ஈர்த்துக்கொள்ளும். மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் உயரும். இறுதியாக, திரவத்திற்கே ஒரு விஞடியில் திரும்பி வந்தடைகின்ற மூலக்கூறுகளும் திரவத்தை விட்டு ஒரு விஞடியில் வெளியேறும் மூலக்கூறுகளும் சம அளவில், இருக்கும் நிலை வந்தெய்தும். இந்த நிலையில் திரவத் துக்கும், ஆவிக்குமிடையே இயக்கச் சமநிலை (Dynamic-equilibrium) உருவாகிறது. மேலும் இந் நிலையில் ஆவி வடிவி லுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மாருததாக இருக்கும். மேலும் ஆவியின் அழுத்தம் நிலையான உயர்ந்த மதிப்பை உடைய தாகவும் இருக்கும். இந்த நிலையிலுள்ள ஆவியைத் 'தெவிட்டு ஆவி' என்று அழைக்கிருேம். எந்த வெப்பநிலையிலும் தெவிட்டு ஆவி அளிக்கும் அழுத்தம்தான் அந்த வெப்பநிலையில் அந்த ஆவியிஞல் அளிக்கப்படக்கூடிய உயர்ந்த பட்ச, அழுத்தமாகும். இதையே தெவிட்டுஆவி அழுத்தம் (Saturated Vapour Pressure) என்று கூறுகிருேம்.

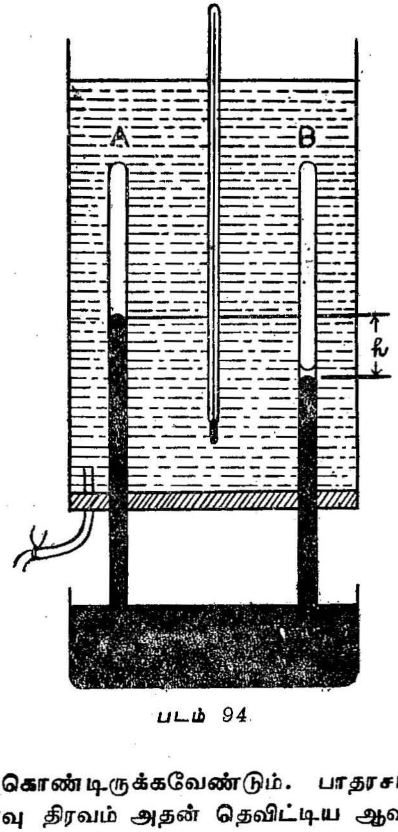
தெவிட்டு ஆவியின் பண்புகளாவன: (1) தெவிட்டு ஆவியின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கப்பட்டால், மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் உயர்வடைவதன் விளைவாக ஆவியாதலின் வீதம் அதிகரிக்கும். ஆகையால் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும் உயர் வடையும்.

(2) ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் அப் பருமனிலுள்ள மற்ற எந்த வாயுவையோ ஆவியையோ பொறுத்ததல்ல.

(3) தெவிட்டிய ஆவியைக் கொண்டிருக்கும் இடத்தின் பருமன் அதிகமானுலோ அல்லது குறைவடைந்தாலோ ஆவி யாதலின் வீதம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. எனவே ஒரு திரவத்தின்

தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம், பருமனைப் பொருத்து மாறுவதில்லை. ஆவியின் அழுத்தம் சற்றே குறைக்கப்பட்டால் அதனின்றும் நீங்கிச்செல்லும் திரவ மூலக்கூறுகளின், எண்ணிக்கை அவ்விடம் வந்தடையும் ஆவி மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை விட அதிகம். மாறாக ஆவியின் அழுத்தம் சற்று உயருமேயாயின் திரவத்தை வந்தடையும் ஆவி மூலக்கூறுகள் எண்ணிக்கை திரவத்தைவிட்டு வெளியேறும் திரவ மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைவிட அதிகம்.

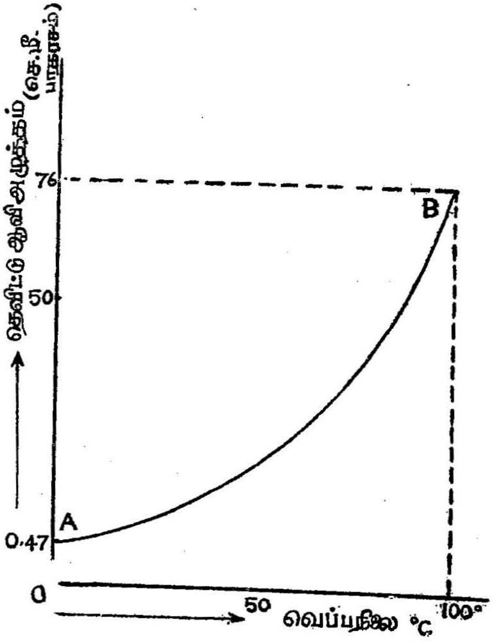
ஆவி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடல்: பாதரசமானியினுள் ஒரு திரவத்தைப் புகுத்துவதன் மூலம் பாதரசத் தம்பத்தின் இறக்கத்தை அளவிடுவதன் மூலமாக, அத் திரவத்தின் கொதிநிலைக்குக் குறைவான வெப்பநிலைகளில் அத் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடலாம். A, B என்ற இரு பாரமானிகள் பாதரசம் நிறைந்த கிண்ணத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்விரு பாரமானிகளையும் சுற்றி ஒரு நீர்த்தொட்டி உள்ளது. ஒரு வளைக்குழாயின் உதவியினால், B என்ற பாரமானியினுள் கொடுக்கப்பட்ட திரவம் சிறிதளவு செலுத்தப்படுகின்றது. பாதரச தம்பத்தின் மேலேயுள்ள வெற்றிடத்தை இத் திரவம் அடைந்தவுடன் அது ஆவியாகிவிடும். இந்த ஆவி அளிக்கும் அழுத்தத்தால் பாதரச மட்டம் சற்றே கீழிறங்கும். பாதரச மட்டம் கீழே தள்ளப்படாதிருக்கும் வரை மேன்மேலும் திரவத்தை அப் பாரமானியினுள் செலுத்திக் கொண்டிருக்கவேண்டும். பாதரசப் பரப்பின் மேல்தங்கும் சிறிதளவு திரவம் அதன் தெவிட்டிய ஆவியுடன் இயக்கச் சமநிலையிலிருக்கும். A, B என்ற இரு பாரமானிகளிலும் உள்ள பாதரச மட்டங்களின் உயர வேறுபாடு (h) சிற்றுயரமானியால் அளவிடப்படுகிறது. இதுவே கொடுக்கப்பட்ட



படம் 94

திரவத்தின் அக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தமாகும்.

பின்னர், நீர்த்தொட்டியினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள கம்பிச் சுருளின் வழியாக மின்சாரத்தைச் செலுத்துவதனால், நீர் சூடுபடுத்தப்படுகிறது. வெப்பநிலை சீரானதாக இருக்க, நீரை அடிக்கடி கலக்குதல் இன்றியமையாதது. நீர்த்தொட்டியின் வெவ்வேறு



படம் 95.

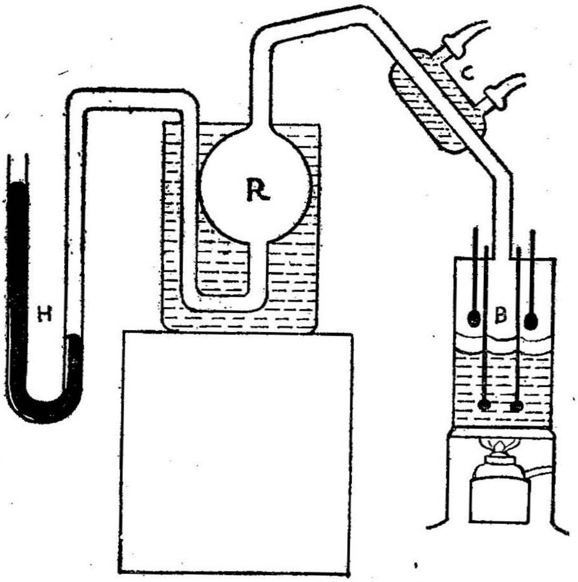
வெப்பநிலைகளில் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. பாதரசப் பரப்பின் மேல் நிற்கும் சிறிதளவு திரவம் அளிக்கக்கூடிய அழுத்தத்திற்கானத் திருத்தத்தினைக் கணக்கிடல்வேண்டும். பாதரசம் திரவம் ஆகியவற்றின் அடர்த்திகள் முறையே d, d_1 எனக் கொள்வோமாயின் திரவத்தின் தெவிட்டு

ஆவி அழுத்தம் $= h - \dfrac{h_1 d_1}{d}$ செ.மீ. (பாதரசம்) படத்தில்

காட்டப்பட்டுள்ள வரைப்படத்தின் வாயிலாக வெப்பநிலையோடு, திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் மாறுபாடெய்தும் முறை விளக்கப்படுகிறது.

உயர் வெப்பநிலைகளில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடல்: நீரின் கொதிநிலைக்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில் மேலே விளக்கப்பட்ட முறையினைக் கொண்டு ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்தைக் கணக்கிட இயலாது. ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் அத் திரவத்தின் கொதி நிலையில் அதன்மேல் செயல்படுகின்ற வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும் என்ற கொள்கையின் அடிப்படையில் ரெனுல்டு என்பவர் கீழ்க்கண்ட முறையைக் கையாண்டார்.

ரெனுல்டு பயன்படுத்திய கருவியின் அமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. உயர் வெப்பநிலையில் தெவிட்டு ஆவி



படம் 96.

அழுத்தம் கணக்கிடப்படவேண்டிய, கொடுக்கப்பட்ட திரவம், *B* என்ற பித்தளைக் கொதிகலனுள் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இக் கொதிகலன், ஒரு சாய்ந்த குழாயினுல் ஒரு பெரிய காற்று அறையுடன் *R* இணைக்கப்பட்டுள்ளது. காற்று அறை ஓர் இறுக்கும் பம்பினுடனே அல்லது வெளியேற்றும் பம்பினுடனே இணைக்கப்படுவதால் காற்று அறையிலும், கொதிகலத்திலும் உள்ள காற்றின் அழுத்தம் சீர் செய்யப்படுகிறது. *M* என்ற பாதரச அழுத்தமானியின் உதவியால் இவ்வழுத்தத்தை அளக்க இயலும். மாருத

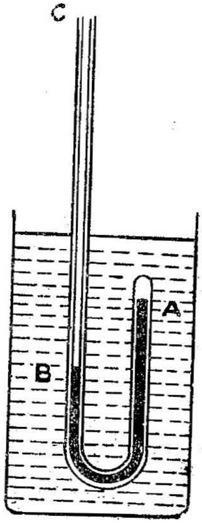
வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு தொட்டியின் நடுவில் காற்று அறை வைக்கப்பட்டுள்ளது. அழுத்தத்தில் சிறிதளவு மாறுபாடுகள் ஏற்படும்பொழுது, ஏற்படும் மாறுதல்களைத் தவிர்க்கின்றது. இத் திரவத்தின் ஆவி, வழியிலேயே குளிர்விக்கப்பட்டு விடுவதால், அது காற்று அறையை அடைய முடியாது.

திரவத்தைக் கொதிக்கச் செய்தபின், அதன் கொதிநிலையைத் திரவத்தினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள இரு வெப்பநிலைமானிகளும், ஆவியினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள இரு வெப்பநிலைமானிகளும் காட்டும் அளவீடுகளின் சராசரி மதிப்பெனக் கொள்ளவேண்டும். இக் கொதிநிலைக்குரிய அழுத்தம், கொதிநிலையில் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. $200°C$ வெப்பநிலை வரை திரவங்களின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்தை ரெனுல்டு, 28 வளி அழுத்தம் வரை மாற்றியமைத்துக் கொண்டார்.

கொதித்தல் (Boiling): திரவம் மெல்லச் சூடேற்றப்படும் பொழுது மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் அதிகரிக்கின்றன. நிறைய எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் திரவத்தை விட்டு வெளியேறுவதற்குத் தேவையான ஆற்றலைப் பெறும். சிறிது நேரங் கழித்துத் திரவத்திற்குள்ளேயே குமிழிகள் உண்டாகித் திரவத்தின் மேற்பரப்பை நோக்கி விரையும். திரவம் நிலையாகத் தொடர்ந்து ஆவியாதலைக் கண்ணுறலாம். இம் முறையில் திரவம் ஆவியாதலைக் கொதித்தல் என்று கூறுகிறோம். திரவம் கொதிக்கத் துவங்கியதும் அதற்குத் தொடர்ந்து வெப்பம் அளிக்கப்பட்டாலும் அதன் வெப்பநிலை, அது முழுதும் ஆவியாகும்வரை மாருமலே இருப்பதைக் காணலாம். எனவே ஒவ்வொரு கிராம் திரவத்திற்கும் அளிக்கப்பட்ட வெப்பம் ஆவியினுள் மறைந்து உறைவதால் இவ் வெப்பம் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படுகிறது. எந்த மாருத வெப்பநிலையில் பொருள் திரவ நிலையிலிருந்து வாயுநிலையை அடைகிறதோ அவ் வெப்பநிலையைத் திரவத்தின் கொதிநிலை என்கிறோம்.

கொதிநிலையைக் கணக்கிடுதல்: J வடிவத்தில் வளைக்கப்பட்டுள்ள, உறுதியான சுவரையுடைய கண்ணாடிக்குழாய் ABCயை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் ஒரு முனை A மூடப்பட்டுள்ளது. குழாயிலுள்ள பாதரச தம்பத்தின் உதவியால் கொடுக்கப்பட்ட திரவம் சிறிதளவு குழாயினுள் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தின் கொதிநிலையைவிட உயர்ந்த கொதிநிலையை உடைய திரவமுள்ள தொட்டியினுள் J வடிவக் குழாய் வைக்கப்படுகிறது. தொட்டியை மெதுவாகச் சூடேற்றினால் கொடுக்கப்பட்ட திரவம் மெல்ல ஆவியாகும். ஆவியின் அழுத்

தத்தால் அப் புயத்திலுள்ள பாதரசம் கீழ்நோக்கி தள்ளப்படும். இதனுல் மறுபுயத்தில் பாதரச மட்டம் உயரும். சிறிது நேரத்தில் இரு புயங்களிலுமுள்ள பாதரச மட்டங்கள் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கும். இதனுல் அடைக்கப்பட்டுள்ள ஆவியின் அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமம் என்பது தெளிவு. இந் நிலையில் தொட்டியின் வெப்பநிலை துல்லியமாக அளக்கப்பட வேண்டும். தொட்டியைச் சூடேற்றுவதை நிறுத்திவிட்டுக் குழாயைக் குளிர வைக்க வேண்டும். மறுபடியும் இரு புயங்களிலும் பாதரசமட்டம் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கும்பொழுது தொட்டியின் வெப்பநிலையை அளவிடவேண்டும். இவ்வாறு அளவிடப்பட்ட இரு வெப்பநிலைகளின் சராசரியே கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தின் கொதிநிலையாகும்.



படம் 97.

எகிறிக் கொதித்தல் (Boiling by bumping): காற்று, தூசு ஆகியவை இல்லாத தூய நீர் கொதிக்க வைக்கப்படும்பொழுது நீருள்ள கலத்தின் சுவர்களின் சில இடங்களிலிருந்து நீராவிக் குமிழ்கள் உண்டாகும். ஆனுல் வெப்பநிலை மாருது இருக்கும். கொதித்தல் தொடர்ந்து நடைபெறுமேயானுல் இக் குமிழ்களின் எண்ணிக்கை குறைவடையும். மேலும் குமிழ்களின் பருமனும் மிகச் சுருங்கும். ஆனுல் வெப்பநிலை 100°C-க்கு மேல் உயர்வடையும். சிறிது நேரத்தில் பெரிய நீராவிக் குமிழிகள் உருவாகி, நீர் முழுவதையுமே மேல் நோக்கி நகர்த்த முயலும். குமிழிகள் பெரிதாகி திடீரென வெடிப்பதால் நீர்க் கீழே விழுகிறது. இது போல ஒரு நீரின் ஒரு பகுதி சற்று மேலே தூக்கி எறியப்படுவதும், பின்பு அது கீழே விழுவதுமான நிகழ்ச்சி தொடர்ந்து நடைபெறும். இந் நிகழ்ச்சியை எகிறிக் கொதித்தல் என்று அழைக்கிறேம். நீரினுள் சிறிதளவு மணலையோ அல்லது பீங்கான் துண்டுகளையோ வைத்துச் சூடேற்றினுல் இவ்வித எகிறிக் கொதித்தல் நடைபெருது.

வளிமண்டலத்தில் நீராவி : ஆறு, ஏரி, குளம், கடல் ஆகிய நீர்நிலைகளின் மேற் பரப்புகளில் இருந்து ஆவியாதல் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. எனவே காற்றில் குறிப்பிட்ட அளவு நீராவி கலந்துள்ளது. எந்த வெப்பநிலையிலும், ஓரிடம் கொள்ளத்தக்க நீராவியின் அளவுக்கு மேல் வரம்பு உண்டு. சாதாரணமாகக் காற்றி

லுள்ள நீராவி தெவிட்டிய நிலையில் இருப்பதில்லை. ஆனால் வளி மண்டல வெப்பநிலை குறைவடையுங்கால், ஒரு குறிப்பிட்ட குறைவான வெப்பநிலையில் காற்றிலுள்ள நீராவி தெவிட்டிய நிலையை எய்தும். வெப்பநிலை இதற்குப் பின்னரும் குறைவடைந்தால் தெவிட்டிய ஆவி குளிர்ந்து குளிர்ப் பொருள்களின்மேல் நீர்த் திவலைகளாகப்படுகிறது. இதைப் பனி (dew) என்கிறோம். தூசுத் துகள்கள் மீதும் நீராவி பனித்திவலைகளாகப் படியும். இது மூடுபனி (mist) எனப்படுகிறது. மூடுபனி அடர்த்தியாக இருப்பின் அது அடர்மிகு பனி என்றழைக்கப்படுகிறது. வளி மண்டலத்தில் மிக உயரத்தில் உருவாகும் மூடுபனியே மேகமாகும். பனித் திவலைகள் அடங்கிய காற்றுச் சமவெளிகளில் இருந்து உயர்ந்த மலைப்பகுதிகளுக்கு அடித்துச் செல்லப்படும்பொழுது அது தடுக்கப்படுதலால் அது மலைகளின் குளிர்ந்த அதிக உயரமான வளி மண்டலப் பகுதிக்கு விரைகிறது. அங்கு திடீரென அழுத்தம் குறைவதால், காற்றுத் திடீரென விரிவடைந்து குளிர்ச்சியடைகிறது. எனவே காற்றிலுள்ள நீராவி குளிர்ந்து பனித்திவலைகளாகவே மாறி ஒன்று சேர்ந்து பெருந்துளிகளாக மாறுங்கால், அவை கீழே விழுகின்றன. இதை மழை என்கிறோம்.

ஈரநிலை அளவியல் (Hygrometry), ஒப்பு ஈரப்பதன் (Relative Humidity). வளி மண்டலத்தின் ஒப்பு ஈரப்பதன் என்பது வளி மண்டலக் காற்றில் ஓரலகு பருமனில் இயற்கையாகவே உள்ள நீராவியின் நிறைக்கும் வளிமண்டல வெப்பநிலையில் அதே பருமனுள்ள காற்றைத் தெவிட்ட வைக்கத் தேவையான நிறைக்கும், இடையேயுள்ள தகவு ஆகும்.

கொடுக்கப்பட்ட பருமன் உள்ள காற்றிலிருக்கின்ற நீராவியின் நிறை எந்த வெப்பநிலையிலும், அந்த நீராவி அளிக்கும் அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே வளி மண்டலத்தின் ஒப்பு ஈரப்பதன் என்பதைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்.

வளிமண்டலத்தின் ஒப்பு ஈரப்பதன் என்பது வளி மண்டலக் காற்றில் இயற்கையாகவே உள்ள நீராவியின் அழுத்தத்திற்கும், வளி மண்டல வெப்பநிலையில், தெவிட்டிய நிலையில் வைக்கத் தேவையான நீராவியின் அழுத்தத்திற்கும் உள்ள தகவு ஆகும்.

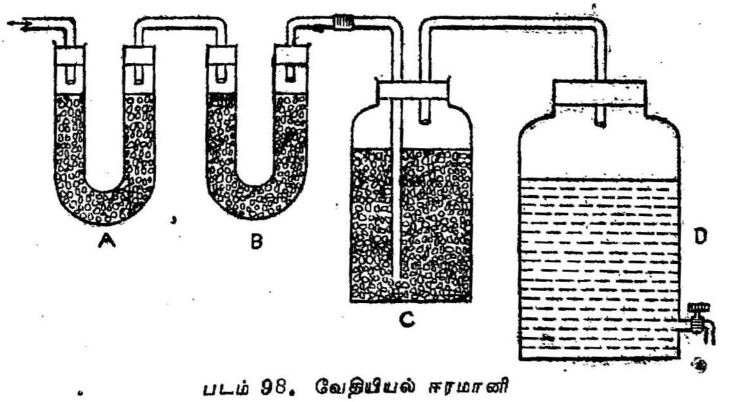
எனவே வளிமண்டலத்தின் ஈரப்பதநிலை அதில் அடங்கியுள்ள நீராவியை மட்டுமின்றி வளிமண்டலத்தின் வெப்பநிலையையும் பொருத்தது. உதாரணமாக மழை நாட்களில், வளிமண்டலம் கிட்டத்தட்ட தெவிட்டிய நிலையில் காணப்படுகிறது. அந் நாட்களில் ஈரமான உடைகள் மிக மெதுவாக உலர்வதைக் காணலாம்.

மேலும் காற்றிலுள்ள நீராவி தெவிட்டு நிலைக்கு அருகிலிருக்குமே யானால் உடம்பில் ஏற்படக்கூடிய வியர்வை விரைவில் நீங்காது தங்கி ஒருவித புழுக்க உணர்ச்சியை உண்டாக்குவதையும் உணரலாம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் காற்றில் இயற்கையாகவே அடங்கியிருக்கும் நீராவி அதைத் தெவிட்டிய நிலையில் வைக்கும் மாருத அழுத்தத்தில் காற்றின் வெப்பநிலை குறைந்து விடுமேயானால் இவ் வெப்ப நிலையில் நீராவி குளிர்ந்து, நீர்த்திவலைகளாகக் குளிர்ந்த பொருட்களின்மேல் படுகிறது. இதைப் பனி என்கிறோம். தூசுத் துகள் மீதும் நீராவி பனித்திவலைகளாகப் படியும். இது மூடுபனி (mist)எனப்படும். மூடுபனி அடர்த்தியாக இருப்பின் அது அடர்மிகு பனி (fog) எனப்படும். எனவே எந்த வெப்பநிலைக்குக் காற்றுக் குளிர்விக்கப்பட்டால் அதிலுள்ள நீராவி பனித்திவலைகளாக மாறுமோ அந்த வெப்பநிலை பனிநிலை எனப்படுகிறது. எனவே ஒப்பு ஈரப்பதம் (Relative humidity) என்பது பனி நிலைக்குரிய தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்திற்கும், காற்றின் வெப்பநிலைக்குரிய தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்திற்கும் இடையே உள்ள தகவு ஆகும்.

ஒப்பு ஈரப்பதனை அளக்கப் பயன்படுகின்ற கருவிகள் ஈரமானிகள் (Hygrometer's) என்றழைக்கப் பெறும். எனவே இவ்வியலை ஈரப்பதநிலை என்கிறோம்.

வளிமண்டலத்தின் ஒப்பு ஈரப்பதனைக் காணல்: **1. வேதியியல் ஈரமானி** (Chemical Hygrometer) இந்த ஈரமானியில் குறிப்



படம் 98. வேதியியல் ஈரமானி

பிட்ட பருமனுள்ள காற்று உலர்த்துக் குழாய்கள் (drying tubes) வழியாகச் செலுத்தப்படுகிறது. உலர்த்துக் குழாய்

களின் எடையில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு அக் குறிப்பிட்ட பருமனுள்ள காற்றில் அடங்கியுள்ள நீராவியின் நிறையைக் கொடுக்கும். அக் காற்றைத் தெவிட்டு நிலையில் வைக்கத் தேவையான நீராவியின் நிறைக்கும், இந் நிறைக்குமுள்ள தகவு ஒப்பு ஈரப்பதன் ஆகும்.

அடர் கந்தக அமிலத்தில் நனைக்கப்பட்ட கூழாங்கற்கள் (pumice stones) வைக்கப்பட்டுள்ள இரு 'U' வடிவ உலர்த்துக் குழாய்கள் A, B அடர் கந்தக அமிலத்தை உடைய ஒரு நீர் நீக்கியுடன் (C) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த நீர் நீக்கி ஒரு காற்று இழுப்பியுடன் (aspirator) (D) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. காற்றிழுப்பியின் அடியில் ஓர் அடைத் திறப்பான் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

முதலில் உலர்த்துக் குழாய்களின் நிறையைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். காற்றிழுப்பியிலிருந்து குறிப்பிட்ட அளவுள்ள நீர் வெளியேற்றப்பட்டால் அதே அளவு பருமனுள்ள காற்று U வடிவக் குழாய்கள் மூலம் உள்ளே இழுக்கப்படும். காற்றிலுள்ள ஈரம் முழுவதையும் உலர்த்துக் குழாய்கள் உறிஞ்சிக்கொள்கின்றன. மேலும் காற்றிழுப்பியிலிருந்து ஈரம் உலர்த்துக் குழாய்களைச் செல்லாதவாறு நீர் நீக்கித் தடுத்து விடுகிறது. U வடிவக் குழாய்களின் எடையை இப்பொழுது கணக்கிட வேண்டும். U வடிவக் குழாய்களின் ஆரம்ப முடிவு எடைகளின் வேறுபாடு உட்சென்ற காற்றிலுள்ள நீராவியின் நிறையைக் கொடுக்கும். காற்றிழுப்பியிலிருந்து வெளியேற்றப்பட்ட நீரின் பருமனை அளவிட்டால் அது உள்ளிழுக்கப்பட்ட காற்றின் பருமனைக் கொடுக்கும்.

காற்றின் பருமன் தெரியுமாதலால், ஓரலகு பருமனுள்ள காற்றில் அடங்கியுள்ள நீராவியின் நிறையைக் (M) கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். வளிமண்டல வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய ஓரலகு பருமன் காற்றிலுள்ள நீராவியின் நிறையை (M) அட்டவணைகளிலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

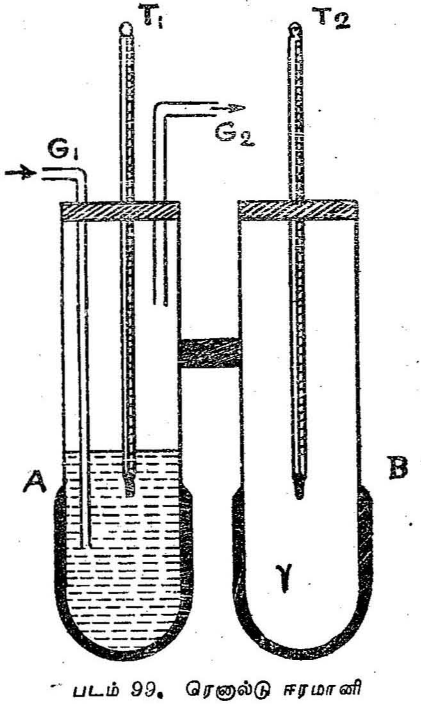
எனவே,

$$\text{ஒப்பு ஈரப்பதன்} \quad \frac{m}{M}$$

ரெனால்டு ஈரமானி (Regnault's Hygrometer) : இது ஒரு நுட்பமான ஈரமானி. அகன்ற சோதனைக் குழாயின் அடிப்பாகத்தில் வெள்ளி முலாம் பூசப்பட்டு, பளபளப்பான குமிழ் பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. அதில் சுமார் பாதியளவு ஈதர் (Ether) இருக்கிறது. இச் சோதனைக் குழாய் மூன்று துளையுள்ள அடைப்பானுல் மூடப்பட்டுள்ளது. ஒரு துளையின் வழியாகக் குழாயின் அடிவரை

செல்லுமாறு ஒரு நீண்ட சிறு குழாய் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு குழாயின் வழியாக ஒரு நுட்பமான வெப்பநிலைமானி, ஈதரின்கீழ் அதன் குமிழ் இருக்குமாறு செருகப்பட்டுள்ளது. ஈதர் மட்டத்திற்கு மேலே இருக்குமாறு, மூன்றாவது துளையின் வழியே செருகப்பட்டு உள்ள குழாய் காற்றிழுப்பியுடன் இணைக்கப்பட்டு உள்ளது.

காற்றிழுப்பி முழுவதும் நீரால் நிரப்பப்பட்டு இருக்கும். அதன் அடியிலுள்ள அடை திறப்பானைத் திறந்து நீரினை மெதுவாக வெளியேற்ற வேண்டும். அப்பொழுது ஈதர் மட்டத்திற்கு மேல் அழுத்தக் குறைவு ஏற்படுமாதலால் வெளிக்காற்று ஈதரினுள் குமிழியிட்டுச் செல்லும். எனவே ஈதர் விரைவில் ஆவியாகும். இதனால் குழாயின் உஷ்ணநிலை குறையும். குறிப்பிட்ட உஷ்ண நிலையில் குமிழின் வெளிப்புறத்தில் நீர்த்திவலைகள் காணப்படும். வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு, இவ்வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். குழாயில் காற்று செல்வதை நிறுத்திவிட்டு சற்றே காத்திருந்தால், குழாய் வெளிப்புறத்திலிருந்து வெப்பத்தை எடுத்துக் கொள்வதின் விளைவாக நீர்த்திவலைகள் மறைந்து, குமிழ் மீண்டும் பளபளப்படையும். இவ்விதம் சற்றே பளபளப்படையும் பொழுது, வெப்பநிலையைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இவ்விரு வெப்பநிலைகளின் சராசரி மதிப்புப் பனி நிலையைக் கொடுக்கும். குமிழின்மீது பனி உண்டாவதால், குமிழ் மங்கலடைவதைத் துல்லியமாகக் கண்டறிய வேறு ஒரு குமிழியைப் பக்கத்தில் வைத்து ஒப்பிட்டுப் பார்க்க வேண்டும். அட்டவணைகளிலிருந்து பனிநிலைக்குரிய தெவிட்டிய நீராவியின் அழுத்தத்தையும் அறையின் வெப்பநிலைக்குரிய தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்தையும் அறிந்து



படம் 99. ரெனல்டு ஈரமானி

கொள்ளலாம். எனவே ஒப்பு ஈரப்பதனை எளிதில் கணக்கிட்டு அறியலாம்.

ஈற வறட்சிக்குமிழ் ஈரமானி (Wet and dry bulb hygrometer): இதை மேஸன் ஈரமானி (Masons hygrometer) என்றும் அழைக்கிறோம். இக் கருவி ஒரு தாங்கியில் செங்குத்தாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ள இரு வெப்பநிலைமானிகளை T_1, T_2 உடையது. வெப்பநிலைமானி T_1 காற்றின் வெப்பநிலையைக் காட்டும். வெப்ப நிலைமானி T_2வின் குமிழ் ஒரு மஸ்லின் துணியால் மூடப்பட்டுள்ளது. துணியின் மறுமுனை குமிழினடியில் உள்ள ஒரு குப்பியிலுள்ள நீரினுள் அமிழ்ந்திருக்கிறது. இதனால் அக் குமிழ் ஈரமாகவே இருக்கும். குமிழைச் சுற்றியுள்ள துணியிலுள்ள ஈரம் ஆவியாக மாறுவதால், குமிழ் குளிர்ச்சியடைகின்றது. எனவே உஷ்ணமானி T_2, வெப்பநிலைமானி T_1, காட்டும் வெப்பநிலையைவிடக் குறைவாகவே காட்டும். ஆவியாதல் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க இரு வெப்பநிலைமானிகள் காட்டும் வெப்பநிலைகளின் வேறுபாடு அதிகரிக்கும். காற்றில் நீராவி எவ்வளவுக்கெவ்வளவு தெவிட்டாமல் இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு ஆவியாதல் அதிகரிக்கின்றது.

T_1 வெப்பநிலைமானி காட்டும் அளவீட்டை θ_1 எனவும், வெப்பநிலைமானி T_2 காட்டும் அளவை θ_2 எனவும் கொள்வோமே யானால் பனிநிலை θ என்பது,

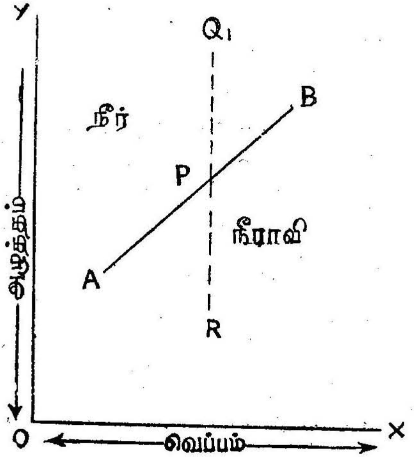
$$\theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2)$$

இச் சமன்பாட்டில் G என்பது கிளேஷர் எண் (Glaisher factor) ஆகும். அட்டவணைகளில் இருந்து பனி நிலையில் தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்தையும், அறை வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய நீராவியின் அழுத்தத்தையும் அறிய இயலுமாதலால் ஒப்பு ஈரப்பதனை எளிதில் கணக்கிடலாம்.

மும்மைப் புள்ளி (Triple Point) ஆவியாதல் கோடு (Vaporisation line): வெளி அழுத்தம் உயர்வடையுங்காலை நீரின் கொதி நிலையும் அதிகரிக்கின்றது என்பதை முன்னரே கண்டோம். கொதி நிலையை X அச்சிலும், வெளி அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் கொண்டு ஒரு வரைப்படம் வரைதல் கூடும். வெளி அழுத்தம், நீரின் கொதி நிலையில் நீரின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கு மெனில், இவ் வரைப்படம் வெப்பநிலைக்கும் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்திற்குமிடையேயுள்ள தொடர்பை விளக்கும். இத்தகைய தொரு வரைப்படம் ஆவியாதல் கோடு எனப்படுகிறது. அழுத்தம் உயரும்பொழுது கொதிநிலையும் உயர்வதால் இவ் வரைகோட்டின்

வாட்டம் (Slope) நேர்க்குறியை உடையதாக இருக்கும். இவ் வரை கோட்டின்மீதுள்ள எல்லா புள்ளிகளிலும் பொருள் கொதித்துக் கொண்டோ அல்லது நீருக்கும் ஆவிக்குமுள்ள சமநிலையிலோ இருக்கும்.

வரைகோட்டின் P என்ற புள்ளியைக் கருதுவோம். அதற்குரிய வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் நீரும், ஆவியும் சம



படம் 100.

நிலையில் இருக்கும். P-க்கு நேர் மேலே Q என்ற புள்ளியைக் கருத்திற் கொள்வோம். இப் புள்ளியில், பொருளின் வெப்பநிலை P-யில் உள்ள வெப்பநிலையே; ஆனால் அழுத்தம் மிக உயர்ந்திருக்கும். Q-வில் உள்ள இவ்வுயர் அழுத்தத்திற்கான, கொதிநிலை P, Q என்னும் இரு புள்ளிகளும் குறிக்கும் வெப்பநிலையை விட அதிகமாக இருக்கும். எனவே Q என்ற புள்ளிக்குரிய அழுத்தத்திலும், வெப்பநிலையிலும் பொருள் நீராகவே இருக்கும். இவ்வாறே, ஆவியாவதால் கோட்டிற்கு மேலேயுள்ள எல்லா புள்ளிகளிலும், அவைகட்கான அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும் பொருள் நீராகவே இருக்கும்.

P என்ற புள்ளிக்கு நேர் கீழேயுள்ள ஒரு புள்ளி Rஐக் கவனிப்போம். இப் புள்ளியிலும், பொருளின் வெப்பநிலை P என்ற புள்ளியிலுள்ள வெப்பநிலைக்குச் சமம். ஆனால், அழுத்தம் மிகக் குறைவு. எனவே இவ் வழுத்தத்திற்கான கொதிநிலை $P_1 R$ என்ற

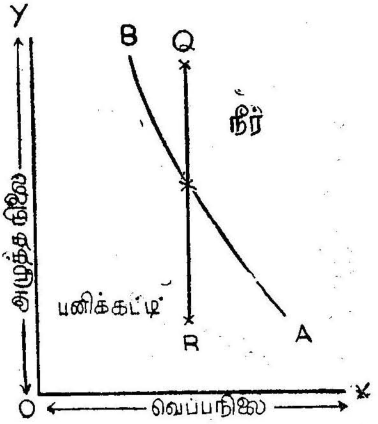
இரு புள்ளிகளும் குறிக்கும் வெப்பநிலையைவிட குறைவாகவே இருக்கும். அதாவது, R என்ற புள்ளியில் பொருள் தனது கொதிநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கிறது. எனவே பொருள் ஆவியாகத்தான் இருக்க முடியும். இதுபோலவே ஆவியாதல் கோட்டிற்குக் கீழே உள்ள எல்லா புள்ளிகள் குறிக்கும் வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும், பொருள் ஆவியாகவே இருக்கும். எனவே, ஆவியாதற் கோட்டிற்கு மேலே உள்ள புள்ளிகளில் பொருள் நீராகவும் கோட்டிற்குக் கீழே உள்ள புள்ளிகளில் ஆவியாகவும், கோட்டின்மேல் சமநிலையிலும் இருக்கும்.

உருகுதல் கோடு (Fusion Curve): அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை குறைகின்றது. எனவே வெளி அழுத்தத்திற்கும் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலைக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு குறித்து வரையப்பெறும் வரைகோடு எதிர்வாட்டம் உடையதாக இருக்கும். மிக உயர்ந்த அழுத்தத்தில் கூட உறைநிலை வீழ்ச்சி மிகக் குறைவாக இருப்பதால் வரைகோடு செங்குத்துச் சரிவாக இருக்கும். இவ்வித வரைகோடு உருகுதல் கோடு எனப்படும். இக் கோட்டின் மேலுள்ள எல்லா புள்ளிகள் குறிக்கும் அழுத்தங்களிலும் வெப்பநிலைகளிலும் நீரும் பனிக்கட்டியும் சமநிலையிலிருக்கும்.

வரைகோட்டின் மேல் P என்ற புள்ளியையும், அப் புள்ளிக்கு நேர் மேலே Q என்ற மற்றொரு புள்ளியையும், கருத்திற் கொள்வோம். இவ்விரு புள்ளிகளிலும் பொருளின் வெப்பநிலை ஒன்றேயாயினும், Qவில் பொருளின் அழுத்தம், Pயில் உள்ள அழுத்தத்தைவிட அதிகம். எனவே Q என்ற புள்ளி குறிக்கும் உருகுநிலை, P குறிக்கும் உருகுநிலையைவிடக் குறைவு. Q குறிக்கும் அழுத்தத்திற்கான வெப்பநிலை, அப் புள்ளி குறிக்கும் உருகுநிலையைவிட அதிகமாக இருக்கும். எனவே பொருள் திரவநிலையில்தான் இருக்க முடியும். இதுபோலவே உருகுதல் கோட்டிற்கு மேலேயுள்ள எல்லா புள்ளிகளும் பொருள் நீராக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.

P என்ற புள்ளிக்கு நேர்கீழே R என்ற புள்ளியை நோக்குவோம். R என்ற புள்ளியிலும், P என்ற புள்ளியிலும் பொருளின் வெப்பநிலை ஒன்றேயாயினும் R-ல் பொருளின் அழுத்தம் Pயில் உள்ள அழுத்தத்தைவிடக் குறைவு. எனவே R குறிக்கும் உருகுநிலை, P குறிக்கும் உருகுநிலையைவிட அதிகமாக இருக்கும். ஆனால் R குறிக்கும் அழுத்தத்திற்கான வெப்பநிலை, அப் புள்ளி குறிக்கும் உருகுநிலையைவிடக் குறைவானது. எனவே பொருள்

பனிக்கட்டியாக இருக்கும். இதுபோலவே உருகுதல் கோட்டிற்குக் கீழேயுள்ள எல்லா புள்ளிகளும் பொருள் பனிக்கட்டியாக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.



படம் 101.

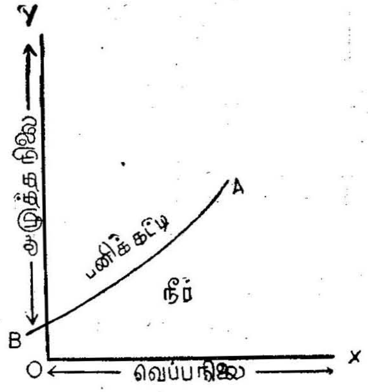
எனவே உருகுதல் கோட்டிற்கு மேலேயுள்ள புள்ளிகளில் நீராகவும், கீழேயுள்ள புள்ளிகளில் பனிக்கட்டியாகவும், கோட்டின் மேலேயுள்ள புள்ளிகள் இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள சமநிலை யிலும் இருக்கும்.

பதங்கமாதல் கோடு (Sublimation Curve): ஒரு பனிக் கட்டிக்கு மேலேயுள்ள ஆவி அழுத்தத்தை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் அளந்து வெப்பநிலையை Z அச்சிலும், அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து வரையும் கோடு நீரின் பதங்கமாதல் கோடு அல்லது உறைபனிக் கோடு என்கிறோம். இக் கோடு நேர் வட்டத்தை உடையதாக இருக்கும்; மேலும் கிட்டத்தட்ட ஒரு கிடை கோடாகும். ஆவியாதல் கோட்டிற்கும் பனிக்கட்டிக் கோட்டிற்கும் விளக்கியவாறே இக் கோட்டிற்குமேல் உள்ள புள்ளிகள் பொருள் பனிக்கட்டியாக இருப்பதையும், கீழேயுள்ள புள்ளிகள் பொருள் நீராவியாக இருப்பதையும் குறிக்கின்றன என நிறுவலாம்.

ஆவியாதல் கோடு, உருகுதல் கோடு, பதங்கமாதல் கோடு ஆகிய மூன்று வரைகோடுகளையும் ஒரே வரைப்படத்தில் வரைந் தால் அவை மூன்றும் ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கும். இப் புள்ளியை 'மும்மைப் புள்ளி' என்கிறோம். மூன்று கோடுகளும் ஒரே

புள்ளியில்தான் சந்திக்கும் என்னும் கொள்கையை எளிதாக நிரூபிக்கலாம்.

இம் மூன்று கோடுகளும் ஒரே புள்ளியில் சந்திக்காமல் ஒரு சிறு முக்கோணப் பரப்பு Pயைப் படத்தில் காட்டியவாறு உருவாக்கு வதாகக் கொள்வோம். P என்ற பரப்பிற்குள் உள்ள ஒரு புள்ளி நீராவிக் கோட்டுக்கு மேலே இருப்பதால் அப் புள்ளியில் பொருள்

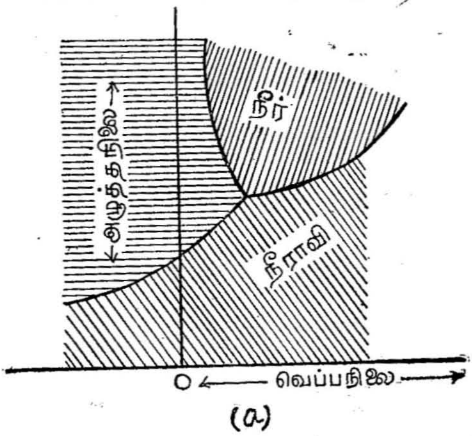


படம் 102.

திரவமாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஆனல் அதே புள்ளி பனிக் கட்டிக் கோட்டுக்குக் கீழே இருப்பதால், அப் புள்ளியில் பொருள் பனிக்கட்டியாகத்தான் இருக்க இயலும்; மேலும் அப் புள்ளி உறைபனிக் கோட்டுக்கு மேலே இருப்பதால், பொருள் வாயு நிலையில் மட்டுமே இருக்க இயலும். P என்ற பரப்பிற்குள் உள்ள ஒரு புள்ளி குறிப்பிடும் அழுத்தத்திலும், வெப்பநிலையிலும், ஒரு பொருள் திடநிலையிலோ அல்லது திரவநிலையிலோ அல்லது வாயு நிலையிலோதான் இருக்க முடியும். மூன்று நிலைகளிலும் ஒரே சமயத்தில் இருக்க முடியாது. எனவே மூன்று கோடுகளும் ஒரே புள்ளியில்தான் சந்திக்கவேண்டும்.

மும்மைப் புள்ளி குறிக்கும் அழுத்தத்திலும், வெப்பநிலையிலும், பொருள் திடப்பொருளாகவும், திரவமாகவும், வாயுவாகவும் சேர்ந்தாற்போல சம நிலையிலிருக்கும். காற்று நீக்கப் பட்டதும், கந்தக அமிலத்தைக் கொண்டதுமான உலர்த்துக் கருவி ஒன்றினுள், ஒரு தட்டில் நீர் வைக்கப்படுமானல், மேற்கூறிய நிலையினை உணர இயலும். கருவியினுள், அழுத்தம் மிகக் குறை வாக இருப்பதால் நீர் உடனே ஆவியாகும். ஆனல், ஆவி உடனே அடர் கந்தக அமிலத்தால் உறிஞ்சப்பட்டுவிடுகிறது.

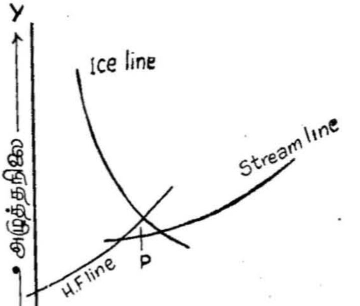
தீவிர ஆவியாதலின் விளைவாகக் குளிர்ச்சி ஏற்படுவதால், நீர் விரைவில் உறைந்துவிடும். இவ்வாறு குளிர்வடையும்பொழுது



படம் 103· (*a*)

ஒரு கட்டத்தில், நீர் உறைவதும், அதே கணத்தில் ஆவியாவதும் தென்படும்.

நீரின் மும்மைப் புள்ளியின் மதிப்புகள்: நீரின் மும்மைப் புள்ளிக்கான அழுத்தமும், வெப்பநிலையும் முறையே *P* மி.மீ.



படம் 103. (*b*)

பாதரசக் கம்ப உயரம் எனவும், $t°C$ எனவும் கொள்வோம். அட்டவணைகளிலிருந்து கீழ்க்கண்ட மதிப்புகளை நாம் பெறலாம்.

$0°C$ வெப்பநிலையில் நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் } = 4·58 மி.மீ. பாதரசக் கம்ப உயரம்

$1°C$ வெப்பநிலையில் நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் } = 4·92 மி.மீ. பாதரசக் கம்ப உயரம்

$1°C$ வெப்பநிலை உயர்வுக்குத் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தில் உயர்வு } = 0·34 மி.மீ. பாதரசக்கம்ப உயரம்

∴ மும்மைப் புள்ளியின் வெப்ப நிலையில் தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தம் } $= 4{\cdot}58 + 0{\cdot}34 \times t$

இதைத்தான் P எனக் கொண்டுள்ளோம்.

$$\therefore P = 4{\cdot}58 + 0{\cdot}34 \times t \quad \ldots (1)$$

அழுத்தம், ஒரு வளி அழுத்த அளவு அதிகமாகும்பொழுது, உருகுநிலை $0{\cdot}0072°C$ அளவு தாழ்வுறுகிறது.

∴ P அழுத்தத்தில் உருகுநிலை $t = 0{\cdot}0072 - \dfrac{0072}{760} P \quad \ldots (2)$

இவ்விரு சமன்பாடுகளையும் தீர்ப்போமேயானால்,

$t = 0{\cdot}007156°C$

$P = 4{\cdot}5824$ மி.மீ. பாதரசக்கம்ப உயரம் என நமக்குக் கிடைக்கும்.

7. இயக்கக் கொள்கை அல்லது இயக்கவியற் கொள்கை

(Kinetic Theory)

ஒரு பொருள் என்பது எண்ணற்ற துகள்களை அல்லது மூலக்கூறுகளை உடையது. ஒவ்வொரு மூலக்கூறும், பொருளின் தன்மைகளைத் தன்னகத்தே கொண்டு விளங்கும் தன்மை உடையது. ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் எஞ்ஞான்றும் இயக்கத்திலேயே இருக்கின்றன. அவை நிலையாக இருக்கின்றன என்று நாம் கொள்வோமேயானால் ஒரு கலத்தில் உள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகள், ஈர்ப்பு விசை செயல்படுதலால், கலத்தினடியில் வந்து சேர்தல் வேண்டும். அதாவது கலத்தின் சுவர்களின் மேல் சீரான அழுத்தம் செயல்பட இயலாது. மேலும் ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகள் அசையாமலே இருக்கின்றன என்று கொள்வோமேயானால் வாயுக்களின் விரவலை நாம் விளக்க முடியாது. திரவங்களின் மேற்பரப்பில் இருந்து நடைபெறும் ஆவியாதல் நிகழ்ச்சியும், இரு திடப்பொருள்களை ஒன்றோடொன்று நீண்டநேரம் பிணைக்கப்பட்டிருக்குங்கால அவற்றினிடையே ஏற்படும் விரவலும், ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் ஓயாது இயங்கிக் கொண்டு இருக்கின்றன என்னும் நம் கருத்துக்கு வலிமையூட்டும் எடுத்துக்காட்டுகள் ஆகும். இதுவே பொருள் இயக்கவியற் கொள்கை என்று அழைக்கப்பெறும். மேக்ஸ்வெல் (Maxwell), க்ளாஷியஸ் (Clausius), ஜீன்ஸ் (Jeans), போல்ட்ஸ்மன் (Boltzmann) முதலானவர்கள் இக் கொள்கையை விரிவாக்கினார்கள்.

ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் தொடர்ந்து இயங்கிக்கொண்டிருக்கின்றன என்பதை 1927-ம் ஆண்டு பிரௌன் (Brown)

என்பார் கண்டுபிடித்தார். ஒரு திரவத்தில், மகரந்தப்பொடி போன்று கரையாது நிற்கும் சிறு துகள்கள் அங்குமிங்குமாக அலைவதை ஒரு திறன்மிகு நுண்ணோக்கி மூலம் காண இயலும். ஒரு திரவத்திலுள்ள மூலக்கூறுகள் சீரின்றி மோதிக் கொள்வதனாலேயே இவ்வித இயக்கம் உண்டாகின்றது. மேலும் மின்னாற்றலினாலோ, இரசாயன மாறுதலாலோ இந்த இயக்கம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால் திரவத்தின் வெப்பநிலை உயர, உயர மூலக்கூறுகள் வேகமாக முடுக்கப்படுகின்றன. எனவே துகள்களின் திசை வேகம் வெப்பநிலையைச் சார்ந்தது எனப் பெறப்படுகிறது.

ஒரு பொருள் திடநிலையில் இருக்கும்பொழுது, அப் பொருளின் மூலக்கூறுகள் பலமான ஈர்ப்பு விசைகளால் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இதனாலேயே அவைகளின் இயக்கம் மிகவும் கட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. ஆனால் அவை அவற்றின் நிலையிடத்திலேயே அலையும் தன்மை வாய்ந்தவை. இந்த அலைவினால் உருவாகும் ஆற்றல் பொருளின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது. வெப்பநிலை உயர்வடையுங்காலை, ஆற்றல் அதிகரிக்கும். எனவே மூலக்கூறுகள் ஈர்ப்பு விசைகளை எதிர்த்து நகர முயலும். இதுவே ஒரு பொருளின் நீட்சிப்பெருக்கத்திற்குக் காரணமாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட உயர் வெப்பநிலையில் இவ்வாற்றல், ஈர்ப்பு விசைகளைத் தகர்த்து எறியும் வலிமை வாய்ந்ததாக விளங்கும். இந் நிலையில் பொருள் திடநிலையை இழந்து திரவநிலையை எய்தும்.

திரவநிலையில், மூலக்கூறுகள் அங்குமிங்கும் வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் இயங்கும் தன்மையன. ஒரு திடப்பொருள் திரவமாக மாற்றப்படும்பொழுது, அதன் மூலக்கூறுகளிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகள் மிகக் குறைந்தனவாயினும், திரவம் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனை உடையதாக விளங்குகிறது. திரவங்களின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே மதிப்பிடத் தகுந்த ஈர்ப்பு விசைகள் உள்ளன என்பதையே இது காட்டுகிறது. திரவத்தின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அதன் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கின்றது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், மூலக்கூறுகள் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையினின்றும் முழுவதுமாக விடுபட்டுத் தன்னிச்சையாக இங்குமங்கும் மிகுந்த வேகங்களுடன் இயங்கும். இந் நிலையிலேயே ஒரு திரவம் வாயுவாக மாற்றம் அடைகிறது.

திரவ நிலையைவிட வாயுநிலையில் மூலக்கூறுகள் தன்னிச்சையாக இயங்கும் தன்மையன. ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகளிடையே செயற்படும் ஈர்ப்பு விசைகள் மிகச் சீரிய வலிமையை உடையன. ஒரு மூலக்கூறு மற்றொரு மூலக்கூறினருகே

சென்றுலன்றி நேர்க்கோட்டிலேயே இயங்கும் தன்மையது. மேலும், வாயு வைக்கப்பட்டுள்ள கலத்தின் சுவர்களின்மேல் அவ் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் மோதுவதால் அச் சுவர்களின் மேல் விசைகள் செயல்படுகின்றன.

வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கை......எடுகோள்கள் (Kinetic Theory of Gases...Postulates): வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையில் கீழ்க்கண்ட எடுகோள்கள் உள்ளன.

1. ஒரு வாயு மிகுந்த எண்ணிக்கையுள்ள, மிகச் சிறிய, உறுதியான, முழு மீட்சித்திறம் கொண்ட, கோளக வடிவ மூலக்கூறுகளை உடையது. ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவின் மூலக்கூறுகள், நிறையிலும், பருமனிலும் சமமதிப்பை உடையவை.

2. மூலக்கூறுகள் ஓயாத இயக்கத்தை உடையன; அவை ஒன்றேடொன்றும் வாயு உள்ள கலத்தின் சுவர்களோடும் மோதிக் கொள்கின்றன.

3. வெப்பநிலை மாருதிருக்கும் வரை, மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்களின் மதிப்பு மாருமலேயே இருக்கும். வெப்பநிலை உயர்வடைந்தால் மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் அதிகரிக்கும்.

4. இரு மோதல்களுக்கிடையே மூலக்கூறுகள் நேர்க்கோட்டில் செல்லுகின்றன. இரு மோதல்களுக்கிடையே, ஒரு மூலக்கூறு கடக்கும் தூரம், அதன் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (Mean Free Path) எனப்படும்.

5. சராசரி மோதலிடைத் தூரத்துடன் ஒப்பிடும்பொழுது ஒரு மூலக்கூறின் பருமன் புறக்கணிக்கத்தக்கது.

6. ஒரு மோதலின்போது, இரு மூலக்கூறுகள் ஒன்றிணைந்து இருக்கும் காலம், சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தைக் கடக்க ஒரு மூலக்கூறு எடுத்துக்கொள்ளும் காலத்தோடு ஒப்பிடுங்கால், புறக்கணிக்கத்தக்கது.

7. இலட்சிய வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளிடையே ஈர்ப்பு விசையோ, விலக்கு விசையோ கிடையாது.

வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவை (Expression For Pressure of a gas): இயக்கவியற் கொள்கையின்படி, ஒரு கலத்தில், அடைக்கப்பட்டுள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகள் கலத்தின் சுவர்களோடு மோதுகின்றன. ஒவ்வொரு மோதலின் போதும்

என்பார் கண்டுபிடித்தார். ஒரு திரவத்தில், மகரந்தப்பொடி போன்று கரையாது நிற்கும் சிறு துகள்கள் அங்குமிங்குமாக அலைவதை ஒரு திறன்மிகு நுண்ணோக்கி மூலம் காண இயலும். ஒரு திரவத்திலுள்ள மூலக்கூறுகள் சீரின்றி மோதிக் கொள்வதனுலேயே இவ்வித இயக்கம் உண்டாகின்றது. மேலும் மின்னுற்றலி னுலோ, இரசாயன மாறுதலாலோ இந்த இயக்கம் பாதிக்கப் படுவதில்லை. ஆனுல் திரவத்தின் வெப்பநிலை உயர, உயர மூலக் கூறுகள் வேகமாக முடுக்கப்படுகின்றன. எனவே துகள்களின் திசை வேகம் வெப்பநிலையைச் சார்ந்தது எனப் பெறப்படுகிறது.

ஒரு பொருள் திடநிலையில் இருக்கும்பொழுது, அப் பொருளின் மூலக்கூறுகள் பலமான ஈர்ப்பு விசைகளால் பிணைக்கப்பட்டிருக் கின்றன. இதனுலேயே அவைகளின் இயக்கம் மிகவும் கட்டுப் படுத்தப்பட்டுள்ளன. ஆனுல் அவை அவற்றின் நிலையிடத்திலேயே அலையும் தன்மை வாய்ந்தவை. இந்த அலைவினுல் உருவாகும் ஆற்றல் பொருளின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது. வெப்பநிலை உயர்வடையுங்காலை, ஆற்றல் அதிகரிக்கும். எனவே மூலக் கூறுகள் ஈர்ப்பு விசைகளை எதிர்த்து நகர முயலும். இதுவே ஒரு பொருளின் நீட்சிப்பெருக்கத்திற்குக் காரணமாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட உயர் வெப்பநிலையில் இவ்வாற்றல், ஈர்ப்பு விசைகளைத் தகர்த்து எறியும் வலிமை வாய்ந்ததாக விளங்கும். இந் நிலையில் பொருள் திடநிலையை இழந்து திரவநிலையை எய்தும்.

திரவநிலையில், மூலக்கூறுகள் அங்குமிங்கும் வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் இயங்கும் தன்மையன. ஒரு திடப்பொருள் திரவமாக மாற்றப்படும்பொழுது, அதன் மூலக்கூறுகளிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகள் மிகக் குறைந்தனவாயினும், திரவம் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனை உடையதாக விளங்குகிறது. திரவங்களின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே மதிப்பிடத் தகுந்த ஈர்ப்பு விசைகள் உள்ளன என்பதையே இது காட்டுகிறது. திரவத்தின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அதன் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கின்றது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், மூலக் கூறுகள் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையினின்றும் முழுவதுமாக விடுபட்டுத் தன்னிச்சையாக இங்குமங்கும் மிகுந்த வேகங்களுடன் இயங்கும். இந் நிலையிலேயே ஒரு திரவம் வாயுவாக மாற்றம் அடைகிறது.

திரவ நிலையைவிட வாயுநிலையில் மூலக்கூறுகள் தன் னிச்சையாக இயங்கும் தன்மையன. ஒரு வாயுவின் மூலக் கூறுகளிடையே செயற்படும் ஈர்ப்பு விசைகள் மிகச் சீரிய வலிமையை உடையன. ஒரு மூலக்கூறு மற்றொரு மூலக்கூறினருகே

சென்றுலன்றி நேர்க்கோட்டிலேயே இயங்கும் தன்மையது. மேலும், வாயு வைக்கப்பட்டுள்ள கலத்தின் சுவர்களின்மேல் அவ் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் மோதுவதால் அச் சுவர்களின் மேல் விசைகள் செயல்படுகின்றன.

வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கை......எடுகோள்கள் (Kinetic Theory of Gases...Postulates): வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள் கையில் கீழ்க்கண்ட எடுகோள்கள் உள்ளன.

1. ஒரு வாயு மிகுந்த எண்ணிக்கையுள்ள, மிகச் சிறிய, உறுதியான, முழு மீட்சித்திறம் கொண்ட, கோளக வடிவ மூலக் கூறுகளை உடையது. ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவின் மூலக்கூறுகள், நிறையிலும், பருமனிலும் சமமதிப்பை உடையவை.

2. மூலக்கூறுகள் ஓயாத இயக்கத்தை உடையன; அவை ஒன்றோடொன்றும் வாயு உள்ள கலத்தின் சுவர்களோடும் மோதிக் கொள்கின்றன.

3. வெப்பநிலை மாருதிருக்கும் வரை, மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்களின் மதிப்பு மாருமலேயே இருக்கும். வெப்பநிலை உயர் வடைந்தால் மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் அதிகரிக்கும்.

4. இரு மோதல்களுக்கிடையே மூலக்கூறுகள் நேர்க் கோட்டில் செல்லுகின்றன. இரு மோதல்களுக்கிடையே, ஒரு மூலக்கூறு கடக்கும் தூரம், அதன் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (Mean Free Path) எனப்படும்.

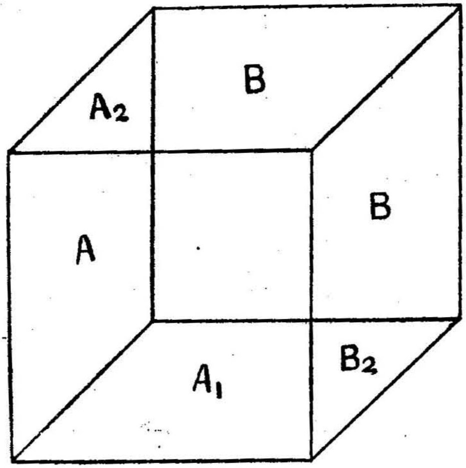
5. சராசரி மோதலிடைத் தூரத்துடன் ஒப்பிடும்பொழுது ஒரு மூலக்கூறின் பருமன் புறக்கணிக்கத்தக்கது.

6. ஒரு மோதலின்போது, இரு மூலக்கூறுகள் ஒன்றிணைந்து இருக்கும் காலம், சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தைக் கடக்க ஒரு மூலக்கூறு எடுத்துக்கொள்ளும் காலத்தோடு ஒப்பிடுங்கால்; புறக் கணிக்கத்தக்கது.

7. இலட்சிய வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளிடையே ஈர்ப்பு விசையோ, விலக்கு விசையோ கிடையாது.

வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவை (Expression For Pressure of a gas): இயக்கவியற் கொள்கையின்படி, ஒரு கலத்தில், அடைக்கப்பட்டுள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகள் கலத்தின் சுவர்களோடு மோதுகின்றன. ஒவ்வொரு மோதலின் போதும்

சுவரின்மேல் ஒரு உந்து விசை தாக்குகின்றது. மிகுந்த எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள், எண்ணற்ற முறைகள், ஒவ்வொரு விநாடியும் சுவரின் மேல் மோதுவதால் சுவரின்மேல் தொடர்ந்து விசை செயலாற்றல்வேண்டும். ஆகையால் ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகள், கொள்கலத்தின் சுவர்கள் மேல் ஓயாது மோதுவதால், சுவர்களின் ஒவ்வொரு அலகு பரப்பிலும், ஒரு விநாடிக்குச் செயல்



படம் 104.

படும் மொத்த உந்து விசையே, அடைக்கப்பட்ட வாயுவினால் ஏற்படும் அழுத்தம் என்பதாகும்.

ஓரலகு பரப்பின்மேல் ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் உந்த மாறுபாட்டு வீதம், கணக்கிடப்படவேண்டும். வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவையைப் பெறுவதற்காக மூலக்கூறுகள் மீச்சிறிய புறக்கணிக்கத்தக்க வடிவுடையனவென்றும் அம் மூலக்கூறுகளிடையே ஈர்ப்பு விசைகள் செயல்படுவதில்லை எனவும் கொள்வோம்.

ஓரலகு பக்கமுள்ள ஒரு கனசதுரப் பட்டக வடிவுடைய கொள்கலத்தில் ஒரு வாயு அடைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். ஓரலகு பருமனுள்ள வாயுவில் n மூலக்கூறுகள் உள்ளன என்றும், ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் m நிறை உடையது என்றும் கொள்வோம். மூலக்கூறொன்றின் திசைவேகம் v என இருக்கட்டும். எல்லா மூலக்கூறுகளுமே, கொள்கலத்தின் $A : B$ என்ற இரு பக்கங்களிடையே அப் பக்கங்களுக்குச் செங்குத்தாக நேர்க்கோட்டில் இயங்குகின்றன என்போம். அப்படிப்பட்ட ஒரு மூலக்கூறு சுவர்

Aயின் மீது மோதுவதாகக் கொண்டால், மோதலுக்கு முன் அம் மூலக்கூறின் உந்தப்பாடு (Momentun) mv ஆகும். மோதலுக்குப் பின் அதே திசை வேகத்துடன் அம் மூலக்கூறு பின்னியங்குமாதலால், மோதலுக்குப்பின் அம் மூலக்கூறின் உந்தப்பாடு—mv. எனவே ஒரு மோதலினுல் மூலக்கூறின் உந்தமாறுபாடு $= mv - (-mv) = 2mv$. ஒரு மூலக்கூறின் திசைவேகம் v எனக் கொள்ளப்படுதலால், அம் மூலக்கூறு A என்ற பக்கத்துக்கும், B என்ற பக்கத்துக்கும் இடைப் பட்ட தூரத்தை ஒரு செகண்டில் v முறைகள் கடக்கும். ஆகையால் சுவர் Aயின் மேல், அந்த மூலக்கூறு $\frac{v}{2}$ தடவைகள் மோதும். ஆகவே ஒரு செகண்டில் ஒரு மூலக்கூறின் உந்தமாறுபாடு $= 2\,mv \times \frac{v}{2} = mv^2$. கலத்தில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை n ஆதலால், n மூலக்கூறுகளினுல், உண்டாக்கப் படும் உந்தமாறுபாடு nmv^2.

மூலக்கூறுகள் A, B ஆகிய இரு பக்கங்களிடையே மட்டும் இயங்குவதாகக் கருத்திற்கொண்டு, மொத்த உந்த மாறுபாடு கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஆனுல் மூலக்கூறுகள் எல்லா திசை களிலுமே இயங்குகின்றன. $\frac{1}{3}$ பங்கு மூலக்கூறுகள் A, B ஆகிய பக்கங்களிடையேயும், $\frac{1}{3}$ பங்கு மூலக்கூறுகள் A_1, B_1 ஆகிய பக்கங் களிடையேயும், $\frac{1}{3}$ பங்கு மூலக்கூறுகள் A_2, B_2 ஆகிய பக்கங் களிடையேயும் இயங்குவன எனக் கொள்வோம். எனவே சுவர் Aயின் மேல் ஒரு செகண்டில் ஏற்படும் மொத்த உந்தமாறுபாடு $= \frac{1}{3}\,nmv^2$. உந்தமாறுபாடு வீதம் விசை ஆகும். ஓரலகு பரப்பின் மேல் செயலாற்றும் விசையை அழுத்தம் என்று அழைக்கிறேம். ஆகையால் வாயுவின் அழுத்தம் $P = \frac{1}{3}\,nmv^2$ ஆகும்.

எல்லா மூலக்கூறுகளுமே ஒரே திசை வேகத்துடன் இயங்குவ தில்லை. எனவே v^2-ன் மதிப்பு எல்லா மூலக்கூறுகளுக்கும் ஒன்ருகவே இராது. ஆகையால் மூலக்கூறுகளின் திசைவேக சராசரி இருமடியை (Mean Square Velocity) $\overline{C^2}$ கருத்திற் கொள்வோமாயின் வாயுவின் அழுத்தம் $P = \frac{1}{3}\,nm\overline{C^2}$.

பல மூலக்கூறுகளின் திசைவேகங்களின் இரு மடியை C_1^2, C_2^2, C_3^2 ...... Cn^2 எனக் குறிப்போமேயானுல், திசைவேக சராசரி இருமடி என்பது,

$$= \frac{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + \cdots\cdots + Cn^2}{n}$$

$\sqrt{\overline{C^2}}$ என்பது திசைவேக சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலம் $\overline{C}$ ஆகும். அதாவது திசைவேக சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலமாகும். இதுவும் சராசரித் திசைவேகமும் ஒன்றல்ல.

திசைவேக சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலத்தைக் (Root Mean Square Velocity) கணக்கிடல்: இயக்கவியற் கொள்கைப்படி, அழுத்தம் $= P = \frac{1}{3}nm\overline{C^2}$ வாயுவின் அடர்த்தியை P எனக் கொள்வோமாயின்,

$$nm = P$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{1}{3}\rho\,\overline{C^2}$$

$$\overline{C^2} = \frac{3P}{\rho}$$

$$\therefore \quad R.M.S. \text{ திசைவேகம் } \overline{C} = \sqrt{\overline{C^2}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலைகளில் உள்ள ஹைட்ரஜன் வாயுவை எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்வோம். அந் நிலைகளில்,

$$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 \text{ டைன்/ச.செ.மீ.}$$

$$\rho = 0{\cdot}000089 \text{ கிராம்/க.செ.மீ.}$$

எனவே ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுவின் $R.M.S.$ திசைவேகம் $\overline{C_0}$,

$$\overline{C_0} = \sqrt{\frac{3 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{0{\cdot}000089}}$$

$$= 1{\cdot}84 \times 10^5 \text{ செ.மீ./வினாடி.}$$

திசைவேக சராசரி இருமடி, வாயுவின் தனி வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே $0°C$ வெப்பநிலையில், திசைவேக சராசரி இருமடி $\overline{C^2}$

$$\overline{C^2} \propto 273 + \theta.$$

$0°C$ வெப்பநிலையில், திசைவேக சராசரி இருமடி $\overline{C_0^2}$,

$$\overline{C_0^2} \propto 273$$

ஆகையால் எந்தவொரு வெப்பநிலை $\theta°$யிலும், $R.M.S.$ திசைவேகம்,

$$\overline{C} = \overline{C_0}\sqrt{\frac{273+\theta}{273}}$$

$$\overline{C} = \sqrt{\frac{3 \cdot P\,(273+\theta)}{\rho \cdot 273}}$$

அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவையிலிருந்து வாயுக்களின் விதிகளைப் பெறுதல். பாயில் விதி (Boyle's law):

இயக்கவியல் விதியிலிருந்து,

$$P = \frac{1}{3} nm\overline{C^2}$$

ஆனால் nm என்பது வாயுவின் அடர்த்தியை (ρ)க் குறிக்கிறது.

$$\therefore P = \frac{1}{3}\rho\,\overline{C^2}$$

வாயுவின் பருமன் V எனவும், அதன் நிறை M எனவும் கொண்டால்.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\therefore P = \frac{1}{3} \cdot \frac{M}{V} \cdot \overline{C^2}$$

அல்லது $$P \cdot V = \frac{1}{3} M\overline{C^2}$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} M\overline{C^2}$$

வெப்பநிலை மாறாது இருந்தால் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2} M\overline{C^2}$ இன் மதிப்பு மாறாததாகும். எனவே மாறா வெப்பநிலையில்,

$$PV = \text{மாறாத எண்}$$

இதுவே பாயில் விதியாகும்.

சார்லஸ் விதி (Charles law): இயக்கவியல் விதியிலிருந்து ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவை,

$$P = \frac{1}{3} nm\,\overline{C^2}$$

அவ்வாயுவின் நிறை, பருமன், அடர்த்தி ஆகியவற்றை முறையே M, V, ρ எனக் கொள்வோமாயின்,

$$nm = \rho = \frac{M}{V}$$

ஆகையால் $\rho = \frac{1}{3} \frac{M}{V} \overline{C^2}$

அல்லது $PV = \frac{1}{3} M\overline{C^2}$

$M\overline{C^2}$, வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதத் தொடர்புடையது. எனவே இச் சமன்பாட்டில் அழுத்தம் மாறுதெனக் கொள்வோமாயின், வெப்பநிலையோடு வாயுவின் பருமன் நேர்விகிதத் தொடர்புடையதென்றும், பருமன் மாறுதபோது அழுத்தம் வெப்ப நேர் விகிதத் தொடர்புடையது எனவும் பெறப்படுகிறது. இதுவே சார்லஸ் விதியாகும்.

இலட்சிய வாயுவின் சமன்பாடு : v பருமனுள்ள ஒரு வாயு ஓரலகு பருமனில் n மூலக்கூறுகளை உடையதெனக் கொள்வோம். அவ் வாயுவின் அழுத்தம்

$$P = \frac{1}{3} nm\overline{C^2}$$

$$\therefore Pv = \frac{1}{3} vnm\overline{C^2}$$

vn என்பது ஒரு வாயுவிலுள்ள மொத்த மூலக்கூறுகளையும் குறிக்கின்றது. அதை N எனக் கொள்வோமாயின்,

$$Pv = \frac{1}{3} Nm\overline{C^2}$$

மாறு வெப்பநிலையில் ஒரு மூலக்கூறுவின் சராசரி மொத்த இயக்க ஆற்றல் மாறுத மதிப்பினை உடையது. ஆனால் வாயு சூடேற்றப்படும்பொழுது இவ்வாற்றலும் அதிகமாகும். எனவே ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி மொத்த இயக்க ஆற்றல் அவ் வாயுவின் தனி வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதப் பொருத்தம் உடையதாக இருக்கும். வாயுவின் வெப்பநிலையைத் தனி வெப்பநிலை அளவீட்டில் $T°$ எனக் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{1}{2} m\overline{C^2} \propto T$$

அல்லது $\frac{1}{2} Nm\overline{C^2} \propto T$

$$\frac{1}{3} Nm\overline{C^2} \propto T$$

எனவே

$$Pv \propto T$$

$$Pv = RT$$

எனவே ஓர் இலட்சிய வாயுக்கான சமன்பாடு, இயக்கவியற் கொள்கையினின்றும் பெறப்படுகிறது.

அவகேட்ரோ விதி (Avagadro's law): "வெப்பநிலையும், அழுத்தமும் மாருது இருக்கும்பொழுது, சம பருமன்களை உடைய இரு வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைகள் சமமாகும் என்பது அவகேட்ரோ விதி" எனப்படுகிறது. இருவேறு வாயுக்கள் ஒரே வெப்பநிலை (T) யையும், அழுத்தத்தையும் (P) கொண்டிருக்கும்பொழுது அவ் வாயுக்களின் ஓரலகு பருமன்கள் முறையே n_1, n_2, என்ற இருவகை மூலக்கூறுகளை உடையன எனக் கொள்வோம். இருவகை மூலக்கூறுகளின் நிறைகளை m_1, m_2 எனவும். அவற்றின் திசைவேக சராசரி இருமடிகளின் மதிப்புகள் முறையே $\overline{C_1^2}$, $\overline{C_2^2}$ எனவும் கொள்வோம். இரு வாயுக்களின் அழுத்தம் ஒன்றேயாதலால்,

$$\frac{1}{3} n_1 m_1 \overline{C_1^2} = \frac{1}{3} n_2 m_2 \overline{C_2^2}$$

வெப்பநிலை, இரு வாயுக்களுக்கும் ஒன்றேயெனக் கொள்வதால், முதல் வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் இரண்டாவது வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமம்.

$$\therefore \frac{1}{2} m_1 \overline{C_1^2} = \frac{1}{2} m_2 \overline{C_2^2}$$

இரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட,

$$n_1 = n_2$$

இதுவே அவகேட்ரோ விதி என்று அழைக்கப்படுகிறது.

விரவல் பற்றிய கிரஹாம் விதி (Graham's law of Diffusion): இரு வாயுக்களின் அழுத்தங்கள் சம மதிப்புடையன எனக் கொள்க. அவ் வாயுக்களின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 என்க.

இரு வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளின் திசைவேக சராசரி இரு மடியின் மதிப்புகள் $\overline{C_1^2}, \overline{C_2^2}$ எனக் கொள்வோம். இரு வாயுக்களும் ஒரே வெப்பநிலையை உடையன என்போமாயின்,

$$P = \frac{1}{3} \rho_1 \overline{C_1^2} = \frac{1}{3} \rho_2 \overline{C_2^2}$$

$$\frac{\overline{C_2^2}}{\overline{C_1^2}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\frac{\sqrt{\overline{C_1^2}}}{\sqrt{\overline{C_2^2}}} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

திசைவேக சராசரி இருமடிகளின் மூலகங்களின் தகவும், மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகங்களின் தகவும் ஒன்றே. வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள், அவ் வாயுக்கள் விரவிப் பரவும் வீதங்களுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே வாயுக்களின் விரவிப் பரவும் வீதங்கள், அவைகளின் அடர்த்திகளின் இருமடி மூலங்களுக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். இதையே கிரஹாம் விதி என்கிறோம்.

போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (Boltzomann Constant) : ஒரு வாயுவின் கிராம் மூலக்கூறு பருமன் v எனவும், பொது வாயு மாறிலியை R எனவும் கொள்வோம். இயக்கவியற் கொள்கையின் படி வாயுவின் அழுத்தம் P,

$$\frac{1}{3} nm \overline{C^2}$$

$$PV = \frac{1}{3} vnm \overline{C_2}$$

$$= \frac{1}{3} Nm \overline{C^2}$$

vn என்பது வாயுவில் அடங்கியுள்ள மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையை (N) குறிக்கும். மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல், வெப்பநிலையோடு நேர்விகிதத் தொடர்புடையனவாதலால்,

$$PV = \frac{1}{3} Nm \overline{C^2} = RT$$

$$\frac{1}{2} mC^2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N} T$$

$$\therefore \frac{1}{2} m\overline{C^2} = \frac{3}{2} K. T$$

$\frac{R}{N}$ என்ற தகவு, போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (K) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இச் சமன்பாட்டில் N என்பது அவகேட்ரோ எண் ஆகும். போல்ட்ஸ்மன் மாறிலியையும், வாயுவின் தனி வெப்ப நிலையையும் அறிய இயலுமேயானல், அவ் வாயுவின், மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றலின் மதிப்புக் கணக்கிடப்பெறுகிறது.

மேற்கூறப்பட்ட சமன்பாட்டிலிருந்து, மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் வாயுவின் தனி வெப்பநிலையுடன் நேர்விகிதத் தொடர்புடையது என்பது தெளிவாகிறது. தனி வெப்பநிலை சுழி மதிப்பை எய்துமேயானல் மூலக்கூறுகளின் சராச்ரி இயக்க ஆற்றலின் மதிப்புச் சுழியாக இருக்கவேண்டும். எனவே மூலக்கூறுகள் அசைவிலா நிலையை எய்துவதற்குக் காரணமான வெப்ப நிலை தனிச்சுழி எனப்படும்.

பகுதி அழுத்தங்கள் பற்றிய டால்டன் விதி (Dalton's law of Partial Pressures): ஒரு கலத்தில் வெவ்வேறு வாயுக்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அவ் வாயுக்களின் மூலக்கூறுகள் ஒவ்வொன்றின் நிறையும் $m_1, m_2, m_3 \ldots\ldots$ எனவும், அவைகளின் திசைவேக சராசரி இருமடிகளின் $\overline{C_1^2}, \overline{C_2^2}, \overline{C_3^2} \ldots\ldots$ எனவும் கொள்வோம். v பருமனுள்ள கொள்கலத்திலுள்ள இவ்வாயுக்களில் அடங்கியுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைகள் முறையே $N_1, N_2, N_3 \ldots\ldots$ என்போம். முதல் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும் அழுத்தம் $P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{N_1}{V} m_1 \overline{C_1^2}$. இரண்டாம் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும் அழுத்தம் $P_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{N_2}{V} m_2 C_2^2$. மூன்றும் வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் அழுத்தம் $= P_3 = \frac{1}{3} \cdot \frac{N_2}{V} \cdot m_3 C_3^2$ எல்லா வாயுக்களும் சேர்ந்து உண்டாக்கும் அழுத்தம்,

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{N_1}{V} m_1 \overline{C_1^2} + \frac{1}{3} \frac{N_2}{V} m_2 \overline{C_2^2} + \frac{1}{3} \frac{N_3}{V} m_3 C_3^2 +$$

$$= P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

எனவே வெவ்வேறு வாயுக்கள், ஒரு கொள்கலத்தில் இருக்கும்பொழுது, அவைகளில் விளையும் மொத்த அழுத்தம் ஒவ்வொரு வாயுவும் தனித்து அக் கொள்கலத்தில் இருக்கும் பொழுது என்ன அழுத்தத்தை விளைவிக்குமோ அவ்வழுத்தங்களின் கூட்டுத் தொகையாகும். இதுவே பகுதி அழுத்தங்கள் பற்றிய டால்டன் விதி எனப்படும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. படித்தர அழுத்த வெப்பநிலையில், ஹீலியத்தின் அடர்த்தி 0·178 கி./லிட்டர், அவ் வெப்பநிலையில் ஹீலியம் மூலக் கூறுகளின் *R.M.S.* திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. இதை 200°*C* வெப்ப நிலையில் அதன் *R.M.S.* திசை வேகத்துடன் ஒப்பிடுக.

படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலையில் ஹீலியத்தின்

$$\text{அடர்த்தி} = 0{\cdot}178 \text{ கிராம் / லிட்டர்}$$

$$= 0{\cdot}000178 \text{ கிராம்/க.செ.மீ.}$$

$$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 \text{ டைன்கள் / ச. செ. மீ.}$$

இயக்கவியற் கொள்கைப்படி,

$$R.M.S. \text{ திசை வேகம் } \overline{Co} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{0{\cdot}000178}}$$

$$= 1{\cdot}307 \times 10^5 \text{ செ மீ./விநாடி}$$

0° *C* வெப்பநிலையில் *R. M. S.* திசைவேகம் $\overline{C}$.

$$\therefore C = \overline{Co}\sqrt{\frac{273+0}{273.}}$$

∴ 200°*C* வெப்ப நிலையில் ஹீலியம் மூலக்கூறுகளின் *R. M. S.* திசைவேகம் $\overline{C}$,

$$C = 1{\cdot}307 \times 10^{5}. \sqrt{\frac{273 + 200}{273}}$$

$$= 1{\cdot}307 \times 10^{5} \times \sqrt{\frac{473}{273}}$$

$$= 1{\cdot}72 \times 10^{5}$$ செ.மீ/விநாடி

$$\therefore \frac{\overline{Co}}{\overline{C}} = \frac{1{\cdot}307 \times 10^{5}}{1{\cdot}72 \times 10^{5}}$$

$$= 0{\cdot}7598.$$

8. நிலைத் தொடர்ச்சி

(Continuity of state)

வாயுக்களின் இறுகுதிறன் (Compressibility of gases): வாயுக்களைப் பொருத்தவரை அழுத்தத்தில் மிகச் சிறிய அளவு மாறுதல் ஏற்பட்டாலும், அது பருமனில் பேரளவு மாற்றத்தை விளைவிக்கின்றது. திட, திரவ பொருள்களோடு ஒப்பிடப்படும்பொழுது, வாயுக்களின் இறுகுந்தன்மை உண்மையிலேயே அதிகமாகும். குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்திற்கும், பருமனுக்கும் உள்ள தொடர்பை முதலில் நிறுவியர் இராபர்ட் பாயில் (Robert Boyle) ஆவார். மாருத வெப்பநிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் அதன் பருமனுடன் எதிர்விகிதத்தில் உள்ளது என்பதே அவர் கண்ட முடிவாகும். குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவின் வெப்பநிலை மாறுவதில்லை என்னுங்காலை, அதன் அழுத்தம் P எனவும், பருமன் V எனவும் இருக்குமேயானல் PV ஒரு மாறிலியாகும். கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் குறிபிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் பருமனும், அடர்த்தியும் எதிர்விகிதத் தொடர்புடையனவாதலால், கொடுக்கப்பட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் அழுத்தம், மாரு வெப்பநிலையில் அதன் அடர்த்தியுடன் நேர்விகிதத்தில் உள்ளது என்றும், பாயிலின் விதியைக் கூறலாம். அடர்த்தியை ρ எனக் கொள்வோமாயின் $\frac{P}{\rho}$ ஒரு மாருத எண்ணுக இருக்கும்.

எல்லா அழுத்தங்களுக்கும், பாயிலின் விதிக்கு உட்பட்டு விளங்கும் வாயுக்களை இலட்சியவாயு என்றழைக்கிறேம். எனவே குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் அழுத்தத்தையும் பருமனையும், மாரு வெப்பநிலையில், முறையே Y அச்சிலும் X அச்சிலும் குறித்து வரையும் கோடு ஓர் அதிபரவளைய (Hyperbola)

வடிவத்தைக் கொண்டிருக்கும். மாறாக அழுத்தத்தின் மதிப்பை X அச்சிலும், அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனின் மதிப்பை Y அச்சிலும் கொண்டு வரையப்படும் கோடு X அச்சுக்கு இணையானதொரு நேர்க்கோடாக இருக்கும்.

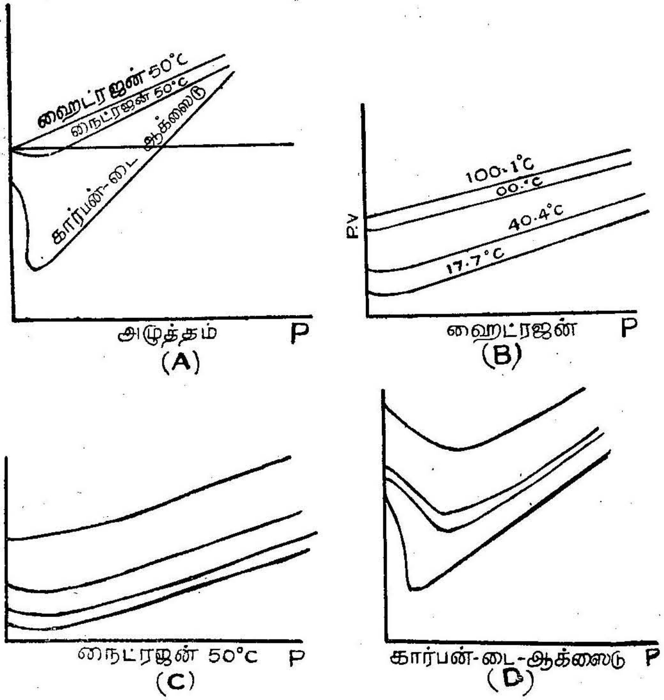
எல்லா வாயுக்களும் பாயிலின் விதிக்குச் சரியாக உட்பட்டு நடப்பதில்லை என்பதை 1827-ஆம் ஆண்டு டெஸ்ப்ரே (Despretz) தனது பரிசோதனைகள் மூலமாகத் தெளிவுபடுத்தினார். ஒரே பாதரசக் குமிழில், அருகருகே வைக்கப்பட்ட பாரமானிக் குழாய் களில் சமபருமனுள்ள அம்மோனியா, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு காற்றுப் போன்ற வெவ்வேறு வாயுக்களைத் திணித்து, அவைகளின் அழுத்தங்களைச் சேர்ந்தாற்போல், சீராக 20 வளிமண்டல அழுத்தங்கள்வரை அதிகரித்து, குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் வாயுக்களின் பருமன்கள் வெவ்வேறாக இருப்பதைக் கண்டறிந்தார். எளிதில் திரவமாகும் அம்மோனியா, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுக்கள் காற்றைவிட அதிகமாக இறுகுவது கண்டறியப் பட்டது. ஹைட்ரஜன் மிகக் குறைந்த இறுக்கத்தையே அடைவதும் தெரியப்பெற்றது. குறைந்தபட்சம் சில வாயுக்களாவது பாயிலின் விதிக்கு முழுதும் உடன்பட்டு ஒழுகுவதில்லை என்பதை இப் பரிசோதனைகள் உணர்த்தின. 1847-ஆம் ஆண்டு, ரெனால்டு, முறையான பரிசோதனைகள் மூலம் பாயிலின் விதியை அனுசரித்து, சாதாரண வாயுக்கள் உயர் அழுத்தங்களில் எவ்வாறு மாற்ற மடைகின்றன என்பதை ஆராய்ந்தார். காற்று, நைட்ரஜன், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு முதலிய வாயுக்களைப் பொருத்தவரை, அழுத்தம் அதிகரிக்கப்பெற்றால் PV-ன் மதிப்புக் குறைகின்றது என்றும், ஹைட்ரஜனுக்கு, அழுத்தம் அதிகரிக்கப்படும்பொழுது PV-ன் மதிப்பும் உயருகிறது என்பதை அறிந்தார். 1850-ல் நெட்டரர் (Netterer) மிக உயர்ந்த அழுத்தங்களில், சாதாரண வெப்பநிலை களில் வாயுக்கள் பாயிலின் விதிக்கு உட்படும் முறைபற்றி கீழ்க்கண்ட உண்மைகளை உணர்த்தினர்.

(1) ஹைட்ரஜனைத் தவிர, மற்ற வாயுக்களுக்கு அழுத்தம் உயருங்கால் PV-ன் மதிப்புக் குறைகின்றது. குறிப்பிட்ட அழுத் தத்தில் அது சிறும மதிப்பை உடையதாய் இருக்கும். மேலும் அழுத்தம் உயருமேயாயின் PV-ன் மதிப்பும் அதிகரிக்கத் துவங்கும்.

(2) ஹைட்ரஜனுக்கு மட்டும், அழுத்தம் அதிகம் ஆக, ஆக PV-ன் மதிப்பும் தொடர்ந்து அதிகரிக்கும்.

அமகாட் சோதனைகள் (Amagat's Experiments): அமகாட் 1880ஆம் ஆண்டில் பாயிலின் விதியின் உண்மை நிலையினை,

தம் முன்னோர்கள் கையாண்ட அழுத்தங்களைவிட மிக உயர்ந்த அழுத்தங்களில் கண்டறிந்தார். ஒரு நிலக்கரி சுரங்கத்தின் அடியில் அமைக்கப்பட்ட 1000 அடி உயரமான எஃகு அழுத்தமானியை அமகாட் உபயோகித்தார். அழுத்தமானியின் கீழ்முனை ஒரு பாதரச கலத்துடன் பொருத்தப்பட்டு இருக்கும். மேல்முனை மூடப்பெற்ற அளவீடுகள், குறிக்கப்பட்ட ஒரு குழாயினுள் வாயு அடைக்கப் பட்டு, பாதரச கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டு இருக்கும். இக் குழாய் ஒரு நீர் உறையினுள் வைக்கப்பட்டு உள்ளது. எனவே வாயுவின் வெப்பநிலையை மாறாது வைத்திருக்க இயலும். பாதரச கலத்தினுள் பணியாற்றும் ஒரு பெரிய திருகின் உதவியால் தேவையான அளவு



படம் 105.

அழுத்தம் அளிக்கப்பட்டது. வெவ்வேறு அழுத்த நிலைகளில், நைட்ரஜன் ஒழுகும் விதத்தை அவர் முதலில் கண்டறிந்தார். மற்ற வாயுக்களுக்கான அவருடைய பரிசோதனைகளில், வாயுக்களின் அழுத்தங்களை அளக்கும் பொருட்டு நைட்ரஜன் வைக்கப்பெற்ற குழாயைப் பயன்படுத்தினர். அவருடைய பரிசோதனை முடிவுகள் வரைப்படங்கள் மூலமாகக் குறித்துக் காட்டப்பட்டன.

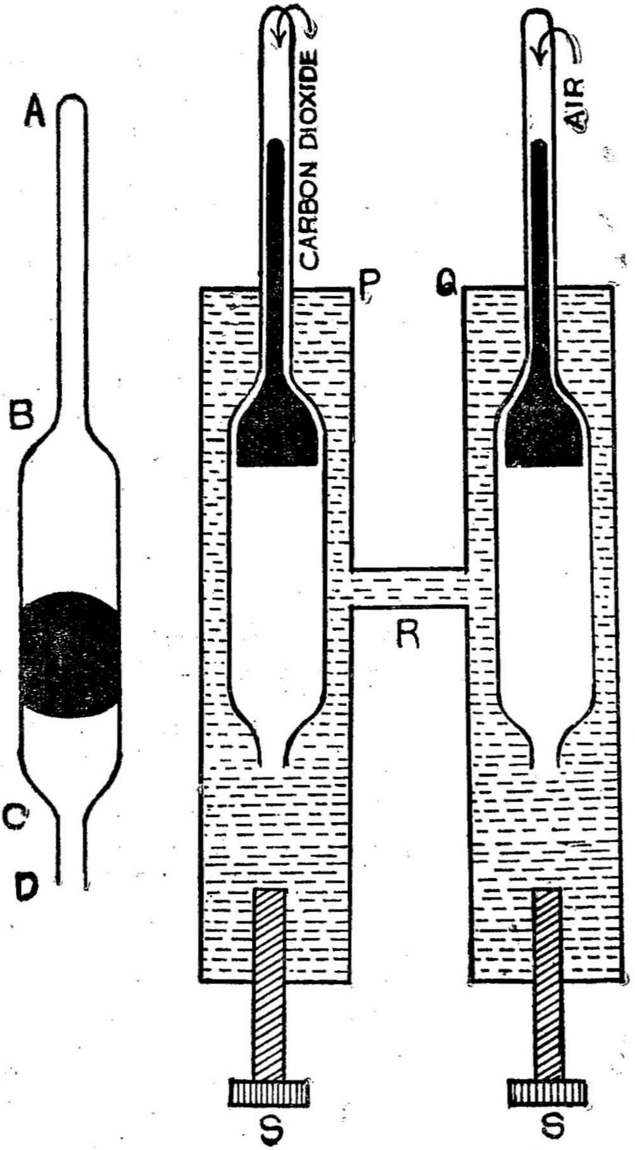
வாயுக்களை இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம் என்பதை வரைப் படங்கள் காட்டுகின்றன. முதல்வகையைச் சேர்ந்த வாயு ஹைட்ரஜன் ஒன்றே, இதைப் பொறுத்தவரை அழுத்தம் உயர்வடைந்தால் PV பெருக்கற்பலனும் தொடர்ந்து அதிகரிக்கின்றது. இவ் வாயுக்கான $PV—P$ வரைகோட்டில் சிறுமப்புள்ளி கிடையாது. $—80°C$ போன்ற குறைவான வெப்பநிலையிலும், ஹைட்ரஜன் இவ்வாறே ஒழுகுகின்றது. காற்று, ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, எதிலீன் முதலானவைகள் இரண்டாம் வகையைச் சார்ந்தவை. இவற்றிற்கு அழுத்தம் அதிகம் ஆக, ஆக PV-ன் மதிப்புக் குறைவடைந்து, சிறும மதிப்பை அடைந்தபின் உயரத்துவங்குகிறது. எளிதில் திரவமாகும் கார்பன்-டை - ஆக்ஸைடு சல்பர் - டை - ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுக்களுக்கு PV-ன் மதிப்பு மற்ற வாயுக்களைவிட கணிசமான அளவுக்குள் குறைகின்றது. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளில் $(—175°C)$ ஹைட்ரஜனும், மற்ற வாயுக்களைப் போலவே PV-க்குச் சிறு மதிப்பை உடையதாக விளங்கும். பொதுவாக எல்லா வாயுக்களுமே, அவற்றின் மாறுநிலை வெப்பநிலையைப்போல் (Critical Temperature) 2·98 மடங்கு குறைவான வெப்பநிலையில் அழுத்தம் அதிகரித்தால் அவற்றில் PV-ன் மதிப்புக் குறையத் துவங்கி சிறும மதிப்பை அடைந்த பின்னர் உயர ஆரம்பிக்கும். அமகாட் பரிசோதனையின் முடிவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு பொதுவாக இயம்பலாம்.

(1) உண்மை வாயுக்கள் (Real gases) உயர் அழுத்தங்களில் பாயிலின் விதிக்கு உட்பட்டு நடப்பதில்லை.

(2) ஒரே வெப்பநிலையில் எளிதில் திரவமாகும் வாயுக்கள், நிலையான வாயுக்களிலிருந்து மிகுந்த மாறுபாடுகளைக் காட்டுகின்றன.

ஆண்ட்ரூஸ் சோதனை (Andreus Experiment) : எளிதில் திரவமாகும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவின்மேல், அழுத்தத்தினலும், வெப்பநிலையினலும் ஏற்படும் விளைவுகளைப் பல சோதனைகளை நடத்தி 1863ஆம் ஆண்டு ஆண்ட்ரூஸ் ஆராய்ந்தார். ஒரு பொருளின் வெவ்வேறு நிலைகளின் இயல்பினையும் அவற்றுக்கிடையே உள்ள தொடர்பினையும் தெளிவுபடுத்த வேண்டும் என்ற நோக்கத்துடன்தான் இச் சோதனைகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. எந்த ஒரு ஆவிக்கும் மாறுநிலை வெப்பநிலை என்றழைக்கப்படும் வெப்பநிலை உண்டென்பதையும், அக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு மேல் உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருந்தால் அதைத் திரவமாக்க இயலாது என்பதை ஆண்ட்ரூஸ்தான் கண்டறிந்தார். கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் வெப்பநிலை $31°C$ க்குக் குறைவாக இருந்தால்தான்

அதைத் திரவமாக்க இயலும் என அவர் கண்டார். 31°C வெப்ப நிலையில் அவ்வாயு இருக்கும்பொழுது அதன்மேல் செயல்படும்



படம் 106.

அழுத்தம், மிக உயர்ந்ததெனினும் அது வாயுநிலையிலேயே

இருப்பது உணரப்பட்டது. முடிவில், திட திரவ வாயுநிலைகள் என்பது நீண்ட தொடர்ச்சியான பௌதிக மாற்றங்களின் வேறுபட்ட நிலைகள் என்று அவர் முடிவு செய்தார்.

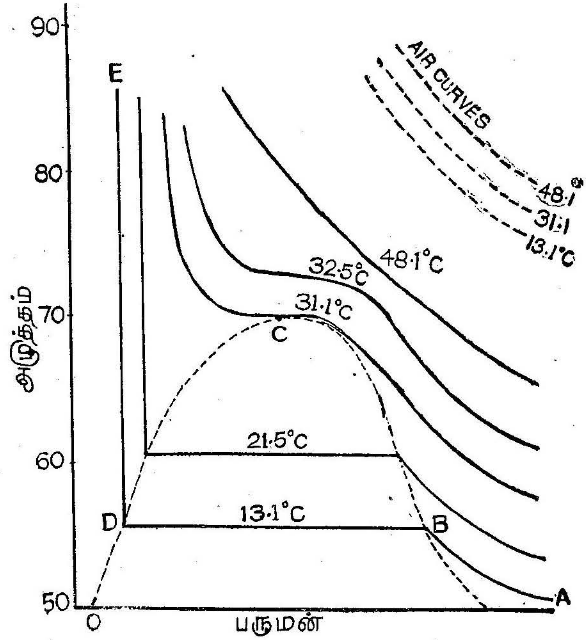
அடுத்தடுத்து நிறுத்தப்பெற்ற ஒத்த அமைப்பை உடைய இரு குழாய்களை உடையது இவர் கருவியாகும். இக் குழாய்கள் அகன்ற நடுபாகம் BCயை உடையன. BCயின்மேல் உறுதியான சுவரை உடைய சீரான நுண்குழாய் AB பொருத்தப்பட்டு உள்ளது. BCயின் அடியில் தேவையான அளவு துளையை உடைய CD என்ற குழாய் பொருத்தப்பட்டு இருக்கும். A என்ற முனை மூடியும், D என்ற முனை திறந்தும் காணப்படுகிறது. சிறு பாதரசத் தம்பத்தினால், ஒரு குழாயினுள் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் மற்றொரு குழாயில் காற்றும் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒன்றோடொன்று இணைந்தும் அடியில் திருகுகள் பொருத்தப் பெற்றதும், நீரால் நிரப்பப்பட்டதுமான இரு உறுதியான செப்பு உருளைக் கலங்களுக்குள் இவ்விரு குழாய்களும் வைக்கப்பட்டு உள்ளன. திருகுகளை இயக்கி, நீரின் வழியாக, வாயுவுக்கு அழுத்தத்தை அளிக்க இயலும்.

திருகுகளைத் தக்கவாறு திருகி, ஆண்ட்ரூஸ் தேவையான அழுத்தங்களை உருவாக்கிக்கொண்டார். பாதரசத்தம்பங்களின் நிலையிலிருந்து வாயுவின் பருமன் நேரிடையாக அளக்கப்படுகிறது. வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வைக்கப்பெறுமாறு, ஒரு நீர்த் தொட்டியினால், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு குழாய்கள் சூழப்பட்டு உள்ளன. வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் அழுத்தத்தையும் பருமனையும் அளந்து வரைப்படங்களில் குறிக்கப் பெற்றன. இவ் வரைப்படங்கள் படத்தில் காட்டியவண்ணம் அமையப்பெற்றிருக்கும். இவ் வரைப்படம் மாறா வெப்பநிலையைக் குறிப்பதால் சமவெப்பநிலைக்கோடுகளாகும்.

இவ் வரைப்படத்தில், $13{\cdot}1°C$ வெப்பநிலைக்கான சமவெப்ப நிலைக் கோட்டினைக் கவனிப்போம். AB என்ற பகுதி, வாயுநிலையில் கார்பன் - டை - ஆக்ஸைடு இருக்கும்பொழுது அது ஒழுகு மாற்றைக் குறிக்கின்றது. இந்நிலையில் B வரை வாயு பாயிலின் விதியை அனுசரித்து நடக்கின்றது என்பது தெளிவு. BD என்ற பகுதி பரும அச்சுக்கு இணையாக உள்ளது. B என்ற புள்ளியில் வாயு முழுவதும் தெவிட்டிய நிலையில் காணப்படுகிறது. BD என்ற பகுதியில் அத் தெவிட்டிய ஆவி திரவமாக்கப்படுகிறது. மேலும், அழுத்தம் மாறாது இருக்கும்பொழுது பருமன் குறைவடைகின்றது. D என்ற புள்ளியில் வாயு முழுவதும் திரவமாக்கப்படுகிறது. DE என்ற பகுதி பரும அச்சுக்குச் செங்குத்தாகக் காணப்படுகிறது.

திரவத்தின்மேல் செயல்படும் அழுத்தம் எவ்வளவு உயர்த்த படினும், திரவத்தின் இறுக்கம் மிகக் குறைவு என்பதை இப் பகு உணர்த்துகிறது.

21·5°C வெப்பநிலைக்கான சமவெப்பநிலைக்கோடு 13·1 வெப்பநிலைக்கான சமவெப்பநிலைக் கோட்டினை ஒத்த வடிவுடையது



படம் 107.

ஆனால் இக் கோட்டின் கிடைக்கோட்டுப் பகுதியின் குறைவாக இருப்பதை அறியலாம். பரிசோதனைக்குட்படுத்தப்ப வாயுவின் நிறையை ஒரு கிராம் எனக் கொள்வோம். கிடை கோட்டுப் பகுதியின் நீளம் குறைந்து விட்டதால் தெவிட்ட ஆவியின் நிறை அலகு பருமன் (Specific Volume) கு வடைகிறது என்பது தெளிவு. எனவே தெவிட்டிய ஆவி அடர்த்தி அதிகமாகின்றது. அதே சமயத்தில் திரவத் நிறையலகு பருமன் உயர்வடைதலையும் விளைவாக அதன் அடர் குறைவுபடுதலையும் உணரலாம். திரவ, வாயு நிலைகளின் பண்பு ஒன்றையொன்று நெருங்கி வருவதையே இது காட்டுகின்றது.

வெப்பநிலை உயர, உயர கிடைக்கோட்டுப் பகுதியின் தொடர்ந்து குறைவதைக் காணலாம். 31·1°C வெப்பநி ம

$$C_v \cdot P \cdot dv + C_v \cdot vdP + C_p \cdot P \cdot dv - C_vP \cdot dv = 0$$

$$C_v \cdot v \cdot dP + C_p \cdot P \cdot dv = 0 \quad \ldots (6)$$

இச் சமன்பாட்டினை C_v ஆல் வகுப்போமாயின்

$$v \cdot dP + \frac{C_p}{C_v} P \cdot dv = 0$$

$\frac{C_p}{C_v}$ என்னும் தகவை நாம் γ என்ற எழுத்தாலேயே குறிப்பிடுதல் வழக்கம்.

$$vdP + \gamma P \cdot v = 0$$

இச் சமன்பாடு முழுவதையும் Pv ஆல் வகுக்க,

$$\frac{dP}{P} + \gamma \cdot \frac{dv}{v} = 0$$

தொகைப்படுத்த

$$\log P + \gamma \log v = \text{மாறுத எண்}$$

$$Pv^{\gamma} = \text{மாறுத எண்} \quad \ldots (7)$$

இதுவே ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகாண சமன்பாடாகும்.

ஆனால் $Pv = RT$

7 ஆம் சமன்பாட்டை 8 ஆம் சமன்பாட்டால் வகுப்போமேயானால்

$$v^{\gamma-1} = \frac{K}{T}$$

இங்கு K என்பது மாறுத எண்ணாகும்.

அல்லது,

$$Tv^{\gamma-1} = \text{மாறுத எண்} \quad \ldots (9)$$

மீண்டும் $Pv = RT$

$$P^{\gamma} v^{\gamma} = R^{\gamma} T^{\gamma} = \text{மாறுத எண்} \times T^{\gamma} \quad \ldots (10)$$

7 ஆம் சமன்பாட்டை 10 ஆம் சமன்பாட்டால் வகுக்க,

$$\frac{1}{P^{\gamma-1}} = \frac{\text{மாறுத எண்}}{T^{\gamma}}$$

அல்லது

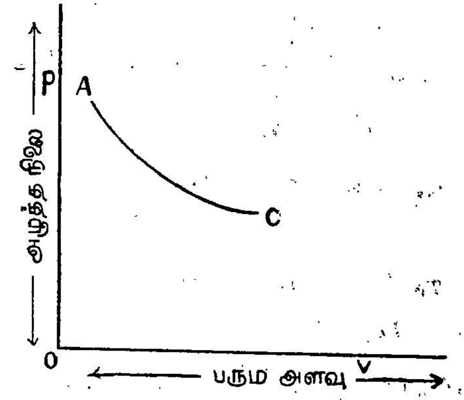
$$\frac{T^{\gamma}}{P^{\gamma - 1}} = \text{மாறுத எண்} \qquad \ldots (11)$$

ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளைக் குறிக்கும் சமன்பாட்டின் வேறுபட்ட வடிவங்களே 7, 9, 11 ஆகிய மூன்று சமன்பாடுகளுமாம்.

PV^{γ} = மாறுத எண் என்று காண மற்றொரு முறை : ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வை AC என்ற வரை படம் மூலமாகக் குறிப்போம். AC என்ற வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வை Pv^n = மாறிலி என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடுவோம். இங்கு P, v என்பது வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் இவைகளையும், n என்பது ஒரு மாறுத எண்ணையும் குறிக்கின்றன என்போம். வாயுவின் அழுத்தம் dP என்ற அளவு அதிகரிப்பதாகவும், அதன் பொருட்டு பருமன் dv அளவு குறைவதாகவும் கொள்வோம். எனவே,

இப்பொழுதுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $= P - dP$

வாயுவின் பருமன் $= V - dV$



படம் 107.

$$\therefore \quad (P + dP)\,(V + dV)^n = PV^n$$

$$PV^n\left(1 + \frac{dP}{P}\right)\left(1 + \frac{dV}{V}\right)^n = PV^n$$

$$\left(1 + \frac{dP}{P}\right) \left(1 + \frac{dV}{V}\right)^n = 1$$

$$\left(1 + \frac{dP}{P}\right) \left(1 + n. \frac{dV}{V}\right) = 1$$

(பைனுமியல் கொள்கைப்படி)

dp, dv இவைகளின் மதிப்புச் சிறுமமாதலால் அவைகளின் பெருக்குத் தொகையை விட்டுவிடலாம்.

எனவே,

$$1 + \frac{dP}{P} - n \frac{dV}{V} = 1$$

$$\therefore \frac{dP}{P} = n . \frac{P}{V}$$

$$\therefore \frac{dV}{dV} = n \cdot \frac{P}{V}$$

இங்கு $\frac{dP}{dV}$ என்பது வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டத்தை யும், $\frac{P}{V}$ என்பது மாரு வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டத்தையும் குறிக்கின்றன. ஆனுல் வெப்பமாற்றீட ற்ற கோட்டின் வாட்டம் $= \gamma \times$ மாருவெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டம் என்று நிருபிக்க லாம்.

இங்கு γ என்பது வெப்ப எண்களின் தகைவாகும்.

எனவே

$$n = \gamma$$

$\therefore$ PV^{γ} = மாருத எண் என்பது வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்குரிய சமன்பாடாகும்.

மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வின்போது செய்யப்படும் செயல் : ஓரலகு நிறையுள்ள ஓர் இலட்சிய வாயு மாரு வெப்பநிலை மாறுபாடுகளை அடைவதாகக் கருத்திற் கொள்வோம். மாருத வெப்பநிலையில் வாயுவின் அழுத்தம் P என இருக்கும்போது பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாடு dv என்போம். வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக வாயுவினுல் செய்யப்படும் பணி $dw = P . dv$. மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வின்போது, வாயுவின் பருமன் v_1-ல் இருந்து v_2 ஆக மாறினுல் வாயுவினுல் செய்யப்பட்ட மொத்த செயல்

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P \cdot dv$$

பாயிலின் விதிப்படி,

$$Pv = RT$$

$$\therefore P = \frac{RT}{v}$$

$$\therefore W = \int_{v_1}^{v_2} RT \cdot \frac{dv}{v}$$

$$W = RT \log_e \left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வின்போது செய்யப்படும் செயல் : ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயு, வெப்பமாற்றீடற்ற மாறுபாட்டினை எய்துவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாடு dv எனில் செய்யப்பட்ட செயல் Pdv ஆகும். வாயுவின் பருமன் v_1லிருந்து v_2 ஆக வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் உயர்வடையும் பொழுது

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P\, dv$$

ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K$$

$$\therefore P = \frac{K}{v^{\gamma}}$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} K \frac{dv}{v^{\gamma}}$$

$$= K\left[\frac{v^{1-\gamma}}{1-\gamma}\right]_{v_1}^{v_2}$$

$$= \frac{K}{1-\gamma}\left[v_2^{1-\gamma} - v_1^{1-\gamma}\right]$$

ஆனல் $K = P_1 v_1^{\gamma} = P_2 v_2^{\gamma}$

$$W = \frac{1}{1-\gamma}\left[P_2 v_2^{\gamma}\, v_2^{1-\gamma} - P_1 v_1^{\gamma}\, v_1^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[P_2 v_2 - P_1 v_1\right]$$

இந் நிகழ்வின்போது வாயுவின் வெப்பநிலை T_1-லிருந்து T_2 ஆக மாறுகின்றதெனில்,

$$P_1 v_1 = RT_1; \quad P_2 v_2 = RT_2$$

$$\therefore \; W = \frac{R}{1-\gamma}(T_1 - T_2)$$

மாரு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகமும், வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகமும் (Isothermal and Adiabatic Elasticity) : ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் அழுத்தம் dP அளவு மாறும்பொழுது, அதன் பருமன் dv அளவு மாறுவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் தொடக்கப் பருமன் v எனில்,

$$\text{வாயுவின் திரிபு (strain)} = \frac{dv}{v}$$

$$\text{தகைவு (stress)} = dP$$

எனவே வாயுவின் பரும மீட்சிக் குணகம் (volume elasticity)

$$E = \frac{dP}{-dv/v} = -\frac{v \cdot dP}{dv}$$

அழுத்தம் அதிகமானல் பருமன் குறையும் அல்லது அழுத்தம் குறைந்தால் பருமன் அதிகரிக்கும் என்பதை எதிர்க்குறி குறிக்கிறது. ஓர் இலட்சிய வாயுவின் சமவெப்பநிலை நிகழ்வுகளுக்கான சமன்பாடு,

$$PV = RT$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$Pdv + vdP = 0$$

$$\therefore \quad vdP = -Pdv$$

$$-\frac{vdP}{dv} = +P$$

ஆகையால் பரும மீட்சிக் குணகம் $E_1 = P$

வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம் : ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$v^{\gamma}\,dp + P\gamma v^{\gamma-1}\,dv = 0$$

$$vdP + \gamma Pdv = 0$$

அல்லது

$$-\frac{dP}{dv/v} = +\gamma P$$

எனவே பரும மீட்சிக் குணகம் $E_2 = +\gamma P$

$$\frac{\text{வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம்}}{\text{மாறு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகம்}} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$= \frac{\gamma P}{P} = \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

எனவே, ஒரு வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம் மாறு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகம் ஆகிய இரண்டுக்கும் இடையேயுள்ள தகைவு அவ் வாயுவின் அழுத்தம் மாறு வெப்ப எண் C_p பருமன் மாறு வெப்ப எண் C_v ஆகிய இரண்டுக்கும் இடையேயுள்ள தகைவிற்கு (γ) சமமாகும்.

மாறு வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டத்திற்கும், வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டத்திற்கும் உள்ள தகைவு (Ratio between Slope of the (Isothermal and Slope of Adiabatic) : ஓர் இலட்சிய வாயுவின் மாறு வெப்பநிலை நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv = K \text{ (மாறிலி)}$$

இதனை வகைப்படுத்தினால்,

$$Pdv + v \cdot dP = 0$$

$$\therefore \frac{dP}{dv} = -\frac{P}{v}$$

$\therefore$ மாரு வெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டம் $= \frac{dP}{dv} = -\frac{P}{v}$

ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K \text{ (மாறிலி)}$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$v^{\gamma} dP + P\gamma v^{\gamma - 1} dv = 0$$

$$vdP + \gamma Pdv = 0$$

$$\frac{Pd}{dv} = -\frac{\gamma P}{v}$$

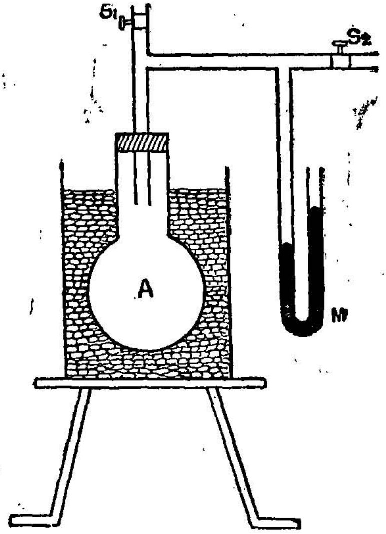
$\therefore$ வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம் $= \frac{dP}{dv} = -\frac{\gamma P}{v}$

$$\therefore \frac{\text{வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்}}{\text{மாரு வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டம்}} = \frac{-\frac{\gamma P}{v}}{-\frac{P}{v}} = \gamma$$

ஆகையால் வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம் மாரு வெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டத்தைப்போல் γ மடங்காகும்.

வெப்ப எண்களின் தகவைக் காணல் க்லெமெண்ட்-டிசார்ம்ஸ் முறை (Clement and Desormes, Method of Determining: Ratio of Specific Heats) : கொடுக்கப்பட்ட வாயு ஒரு பெரிய குடுவையினுள் அடைக்கப்பட்டு உள்ளது. இக் குடுவையை (A) ஒரு துளை உள்ள இரப்பர் அடைப்பானுல் மூடி, துளையின் வழியாக, மூன்று கிளைக் குழாய்களை உடைய ஒரு கண்ணுடிக் குழாயைச் செருக வேண்டும். ஒரு குழாய் M என்ற அழுத்தமானியுடன் ஓர் அடைப்பான் S_2 வழியாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அழுத்தமானித் திரவமாகக் கந்தக அமிலம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மற்ருெரு குழாய் S_1 என்ற அடைப்பானுல் மூடப்பட்டுள்ளது.

குடுவை ஒரு மரப்பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டு, சுற்றிலுமுள்ள இடைவெளி, பஞ்சு கம்பளி போன்ற அரிதில் கடத்திகளால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது.



படம் 108. வெப்ப எண்களின் தகைவு—க்லெமெண்ட் டிசார்ம்ஸ் முறை

வளிமண்டல அழுத்தத்தை (P_0)விட சற்று அதிகமான அழுத்தத்தில் (P) குடுவை கொடுக்கப்பட்டுள்ள வாயுவினால் நிரப்பப்படவேண்டும். அழுத்தமானியின் புயங்களில் திரவ மட்டங்கள் நிலையாக நின்றபின், அடைபட்டுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தை அளவிடலாம். குடுவையிலுள்ள வாயுவின் தனி வெப்பநிலை T° வெளிக்காற்றின் வெப்பநிலையே ஆகும். அடைப்பான் S_2வைத் திடிரெனத் திறந்து உடனே மூடிவிடவேண்டும். வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் காற்றுத் திடீரென விரிவடைந்து வளிமண்டல அழுத்தத்தை (P_0) அடையும். மேலும், அதன் வெப்பநிலை T°க்குக் குறைந்துபோகும். இந் நிகழ்வைக் கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$\frac{P_1^{\gamma-1}}{T_1^{\gamma}} = \frac{P_0^{\gamma-1}}{T_0^{\gamma}}$$

$$\left[\frac{P_1}{P_2}\right]^{\gamma-1} = \left[\frac{T_1}{T_2}\right]^{\gamma} \qquad \ldots\ldots 1$$

குடுவையிலுள்ள காற்று, சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்று, மெல்ல வெளிக்காற்றின் வெப்பநிலையை (T_1) அடையும். அழுத்தமானியில் திரவமட்டங்கள் நிலையாக நின்றபின் வாயுவின் அழுத்தம் அளவிடப்படுகிறது. அதை P_2 என்க. இம்மாறுபாட்டின்பொழுது, வாயுவின் அழுத்தமும், வெப்பநிலையும் முறையே P_0, T_0 என்னும் மதிப்புகளிலிருந்து P_1, T_1 என்னும் மதிப்புகளை அடைகின்றன.

எனவே சார்லஸ் விதியின்படி,

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_2}{T_1}$$

(அல்லது)

$$\frac{P_0}{P_2} = \frac{T_0}{T_1} \qquad \ldots\ldots 2$$

முதல் சமன்பாட்டையும், இரண்டாவது சமன்பாட்டையும் ஒப்பிட,

$$\left[\frac{P_1}{P_0}\right]^{\gamma-1} = \left[\frac{P_2}{P_0}\right]^{\gamma}$$

$$(\gamma - 1)(\log P_1 - \log P_0) = \gamma(\log P_2 - \log P_0)$$

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{\log P_2 - \log P_0}{\log P_1 - \log P_0}$$

$$\gamma = \frac{\log P_1 - \log P_0}{\log P_1 - \log P_2}$$

பரிசோதனையின் துவக்கத்திலும், இறுதியிலும் அழுத்தமானியில் திரவமட்டங்களின் உயர வேறுபாடுகள் முறையே h_1, h_2 என்க. அழுத்தமானித் திரவத்தின் அடர்த்தி ρ என்க.

$$P_1 = P_0 + h_1 \rho$$

$$P_2 = P_0 + h_2 \rho$$

$$\log_e P_1 = \log_e (P_0 + h_1 \rho)$$

$$= \log_e P_0 \left[1 + \frac{h_1 \rho}{P_0}\right]$$

$$= \log_e P_0 + \log_e \left[1 + \frac{h_1 \rho}{P_0}\right]$$

$$= \log_e P_0 + \frac{h_2 \rho}{P_0}$$

இதுபோலவே,

$$\log_e P_2 = \log_e P_0 + \frac{h_2 \rho}{P_0}$$

$$\gamma = \frac{\log_e P_1 - \log_e P_0}{\log_e P_1 - \log_e P_0}$$

$$= \frac{\log_e P_0 + \dfrac{h_1 \rho}{P_0} - \log_e P_0}{\log_e P_0 + \dfrac{h_1 \rho}{P_0} - \log_e P_0 - \dfrac{h_2 \rho}{P_0}}$$

எனவே $\gamma = \dfrac{h_1}{h_1 - h_2}$

இச் சோதனையின் குறைபாடுகள் : அடைப்பான் திறக்கப்பட்ட உடனேயே குடுவையில் உள்ள வாயு வளிமண்டல அழுத்தத்தை அடையுமளவிற்கு விரிவடைகின்றதா என்பதை நிச்சயமாகக் கூற இயலாது. மேலும் அடைப்பானைத் திறந்து மூடியவுடனே வாயுவின் அழுத்தத்தை அளவிட இயலாது.

குண்ட் குழாய் முறை (Kundt's Tube Method): ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகத்தை (V), நியூட்டன் என்பார்,

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

என்ற சமன்பாட்டை நிறுவினார். இச் சமன்பாட்டில் E என்பது அவ் வாயுவின் பரும மீட்சிக் குணகம், ρ வாயுவின் அடர்த்தியாகும். ஒலி ஒரு வாயுவில் செல்லும்பொழுது இறுக்கங்களும் நெகிழ்ச்சிகளும் மாறிமாறி மிக விரைவாக வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படுவதால், மேற்கூறிய சமன்பாட்டில், வெப்பமாற்றீடற்ற பரும மீட்சிக் குணகத்தையே பயன்படுத்தவேண்டும் என 'லேப்லாசு'' (Laplace) என்பவர் கண்டுணர்ந்தார். எனவே,

வெப்பமாற்றீடற்ற பரும மீட்சிக்

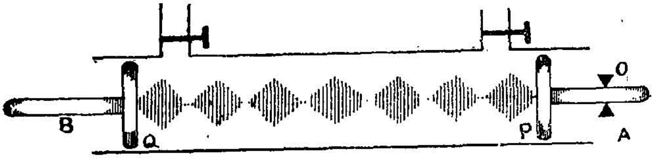
$$\text{குணகம் } E = -v \cdot \frac{dP}{dv} = +\gamma P$$

இச் சமன்பாட்டில் P என்பது வாயுவின் அழுத்தம்; எதிர்க்குறி, $\frac{dP}{dv}$-ன் மதிப்பு எதிர்க்குறியை உடையதெனக் குறிக்கிறது. எனவே,

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

கொடுக்கப்பட்ட வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகத்தின் மதிப்பை, இச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால், அவ் வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் காண்பதற்குக் குண்ட் குழாயைப் பயன்படுத்தலாம். இக் கருவி ஒரு மீட்டர்



படம் 109.

நீளமுள்ள, கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்பெற்ற கண்ணாடிக்குழாயை உடையது. குழாயின் ஒருமுனை உந்துதண்டால் மூடப்பட்டுள்ளது. மறுமுனையில் ஒரு நீளமான உலோகத்தண்டின் முனையில் பொருத்தப்பட்ட அடைப்பான் P உள்ளது. A என்ற தண்டு, அதன் மையப்புள்ளியில் இறுக்கிப் பிடித்தவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. குழாயினுள் ஈரமற்ற மரத்தூள் சீராகத் தூவப்பட்டுள்ளது.

குழாயினுள் காற்று இருக்கும்பொழுது, மரப்பிசினூட்டப் பெற்ற தோலின் உதவியால் A என்ற தண்டினை நீளவாக்கில் அதிர்வூட்டவேண்டும் உந்து தண்டினைத் தேவையானவாறு நகர்த்தி, குழாய்க்குள் நிலை அலைகள் (stationary waves) உருவாகுமாறு செய்தல் வேண்டும். இந் நிலையில் மரத்தூள்கள் சம தூரங்களில் குவிந்து நிற்கும். இவை குவிந்து நிற்கும் புள்ளிகள் கணுக்கில் (nodles) என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_1) அளந்து கொள்ளவேண்டும். குழாயினுள், காற்றுக்குப் பதிலாக, வாயு இருக்குமாறு செய்து, சோதனையைத் திரும்பச் செய்து, அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_2) அளந்துகொள்ளவேண்டும். காற்றிலும், வாயுவிலும், ஒளியின் திசைவேகங்கள் முறையே V_1, V_2 எனில்,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

V_2-ன் மதிப்புத் தெரியுமேயாயின், வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். இம் மதிப்பை 1ஆம் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமேயானால், அவ் வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவைக் (γ) கணக்கிட்டறியலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 0·76மீ. அழுத்தத்திலும் 27°C வெப்பநிலையிலும் உள்ள ஓர் இலட்சிய வாயுவின் பருமன் வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் இரண்டில் ஒரு பங்காக இறுக்கப்படுகிறது. இந் நிகழ்வின் இறுதியில் ஏற்படும் வெப்பநிலையையும், அழுத்தத்தையும் கணக்கிடுக.

$C_v = 0·3$ கிலோ கலோரி/கி.கிராம் $C_p = 0·42$ கிலோ கலோரி/கி.கிராம்.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = = \frac{0·42}{0·3} = 1·4$$

$$P_1 = 0·76\text{மீ.}$$

$$T_1 = (273+27) = 300°\text{A}$$

துவக்கப் பருமனை V_1 எனக் கொள்வோம். எனவே

$$\text{இறுதிப் பருமன்} = \frac{V_1}{2}$$

வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு

$$TV^{\gamma-1} = \text{மாறுத எண்}$$

அல்லது $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$$P = x P_C;\ v = y v_C;\ T = z T_C$$

x, y, z ஆகியவை மாறிலிகளாகும். மற்றொரு பொருளின், அழுத்தம், பருமன் வெப்பநிலை முதலியவற்றை இம் மாறுநிலை மாறிலிகள் மூலம் மேற்கண்ட மதிப்புக்குச் சமமாகக் குறிக்கப் பெறுமாயின், இவ்விரு பொருள்களும் ஒப்புமை நிலைகளை உடையன என்று கூறுகிறோம். வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டில் இம் மதிப்பு களைப் பதிலீடு செய்வோமேயானால்,

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

$$\left[x P_C + \frac{a}{y^2 v_C^2}\right](y v_C - b) = R z \cdot T_C$$

P_C, v_C, T_C ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய

$$\left[x \cdot \frac{a}{27b^2} + \frac{a}{y^2 9b^2}\right](y.3b - b) = \frac{R.z.8a}{27Rb.}$$

$$\left(\frac{x}{27} + \frac{1}{9y^2}\right)(3y - 1) = \frac{8z}{27.}$$

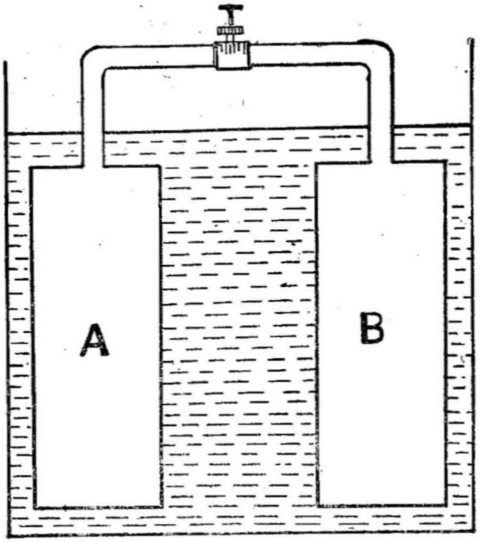
சமன்பாடு, ஒப்புமை நிலைக்கானச் சுருக்கச் சமன்பாடு என்கிறோம். இந்தச் சமன்பாட்டில் a, b, R ஆகிய சிறப்பு மாறிலி கிடையாது. எனவே இது எல்லா வாயுக்களுக்கும் பொருந்தும்.

9. வாயுக்களைத் திரவமாக்குதல்

(Liquefaction of Gases)

ஜூல்-கெல்வின் விளைவு (Joule-Kelvin effect): வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றைக் கணக்கிடுவதற்கான தன் பரிசோதனைகளின் போது, மூலக்கூறுகளிடையே ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது மூலக்கூறுகளிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகளுக்காக எவ்வித ஆற்றலும் செலவழிக்கப்பட வேண்டியதில்லை என்னும் பொழுது, வாயுவின் மேல் ஆற்றப்பட்ட பணியும், இதன் விளைவாக வாயுவில் உருவாகும் வெப்பமும் சமமாக இருத்தல் வேண்டும் என்று ஜூல் கருதினர். எனினும் அவர் கணக்கிட்ட Jயின் மதிப்பு மற்றவர்களின் மதிப்புகளின்றும் பெரிதும் மாறுபடவில்லை. எனவே தமது பரிசோதனைகளைத் துல்லியமாகத் திருத்தியமைக்கப் பட வேண்டிய அவசியத்தை ஜூல் உணர்ந்தார். ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயு, புறவினை (External-Work) செய்யாது விரிவடைய இயலுமாயின் எவ்வளவு ஆற்றல் அங்கு இருப்பினும், அவ்வாயு வெவ்வேறு நிலைகளை அடையுமாயினும், உள்ளார்ந்த ஆற்றல் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்தினுல் விளையும் இயக்க ஆற்றலாகவும், மூலக்கூறுகளிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகளின் காரணமாக உருவாகும் நிலையாற்றலாகவும் திருத்தி அமைக்கப்படுவதைக் கண்ணுறுவதிலேயே தம் கவனத்தை ஜூல் செலுத்தினர். நிலையாற்றல் அதிகமாகுமேயானல் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் குறைவுபட்டு, அதன் விளைவாக வாயுவின் வெப்பநிலை வீழ்ச்சி எய்தும் என்றும் அவர் முடிவு செய்தார். இதைச் சோதிப்பதற்காக ஓர் அடைதிறப்பான் பொருத்தப்பட்ட, சிறுகுழாய் ஒன்றினுல் இணைக்கப்பட்டுள்ள இரு பெரிய உலோகக் கலங்களை எடுத்துக் கொண்டார். நீர்நிறைந்த பெரிய பாத்திரத்தில் இவ்வமைப்பை மூழ்க வைத்தார். நீரின் வெப்பநிலை, 1/200°C துல்லியமாக அளக்கவல்ல, வெப்பநிலைமானியால் அளவிடப்

பட்டது. ஒரு கலத்தினுள் காற்று அதிகமான அழுத்தத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. மறுகலத்திலிருந்து காற்று முழுதும் நீக்கப்பட்டது. அடை திறப்பானைத் திடீரென திறந்து *A*யில் உள்ள காற்று *B* யினுள் விரிவடையுமாறு ஜூல் செய்தார்.

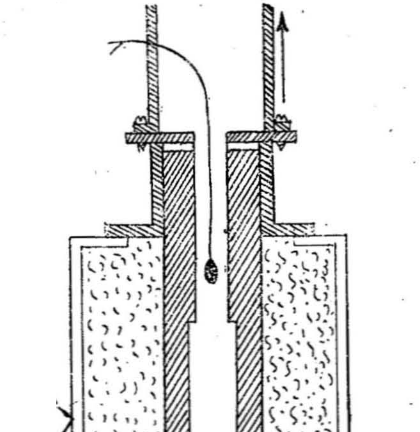


படம் 111.

இவ்வாறு விரிவடையும்பொழுது நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலை, வீழ்ச்சியை அடையுமென ஜூல் எதிர்பார்த்தார். அவ்விதம் குளிர்வடைதல் தென்படவில்லை. தன் பரிசோதனைகள் துல்லிய மானதல்ல என அவர் முடிவு செய்து, தன் சோதனைகளின் முடிவு களால் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையினைப் பற்றி கருத்து ஒன்றினை வெளியிடாதிருந்தார். 1852 ஆம் ஆண்டு ஜூல், கெல்வின் ஆகிய இருவரும் நுண்துளைகளையுடைய ஓர் அடைப்பு வழியாக இறுக்கிய வாயுவைச் செலுத்தி விரிவடை யும்படி செய்ததில் வெப்பநிலை மாறுவதைக் கண்டு, மூலக்கூறு களிடையே, ஈர்ப்பு விசைகள் அமைந்திருப்பதை உறுதி செய் தனர். இந்தச் சோதனையை ஜூல் கெல்வின் நுண்துளை அடைப்புச் சோதனை (Porous Plug Experiment) என்று அழைக்கப் படுகிறது.

ஒரு கெட்டியான சுவரினை உடைய கண்ணாடிக் குழாய் ஒரு மரக்குழாயினுள் சூழப்பட்டு, அதைச்சுற்றி மற்றொரு கண்ணாடிக்

குழாயினுல் சூழ்ந்துள்ளது. கெட்டிக் கண்ணுடிக் குழாய்க்கு வெளியிலுள்ள இடைவெளி பஞ்சு, கம்பளி, பட்டு ஆகிய பொருள்களால் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனுல் வெப்பக் கடத்தல் முறையில் வெப்பம் இழக்கப் படுவது தடுக்கப்படுகிறது. கெட்டிக் கண்ணுடிக் குழாயின் நடுவில் சிறு துவாரங்களை உடைய உலர்ந்த நெருக்கமின்றி நிறைக்கப் பெற்ற பஞ்சு—கம்பளி வைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 112.

குளிர்ந்த நீரினுள் வைக்கப் பட்டுள்ள சுருள் குழாயின் வழியாக வாயுவைச்செலுத்தி அதைக் குளிரவைக்க வேண்டும். கெட்டிக் கண்ணுடிக் குழாயின் அடிப்பாகத்தின் வழியே நுழையும்பொழுது அதன் வெப்பநிலையைப் பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானியால் அளவிடப் பட்டது. நுண்துளை அடைப்பின் வழியாக வாயு செல்லும் பொழுது அதன் அழுத்தத்தில் மிகுதியான வீழ்ச்சி ஏற்படுமாறு செய்யப்பட்டது. அடைப்பிணைவிட்டு வெளி வரும் வாயுவின் வெப்பநிலை முன்போலவே குறிக்கப்பெறுதல் வேண்டும். இப் பரிசோதனையில் அதிக அழுத்தத்தில் இறுக்கப்பட்டுள்ள வாயு நுண்துளை அடைப்பின் வழியே, புறவினை செய்யாமலேயே விரிவடையச் செய்யப்படுகிறது. கருவியினுள் வாயுவைச் சீரான வேகத்தில் செலுத்தவல்ல பம்புகள் வளிமண்டல அழுத்தத்திற்கு எதிராக வாயு விரிவடையும்பொழுது செய்யப்பட வேண்டிய புறவினையை ஆற்றுகின்றன. நீண்ட வெப்பநிலைப் பகுதிகளில் வெவ்வேறு வாயுக்களுக்கு இப் பரிசோதனையை ஜூல், கெல்வின் இருவரும் செய்து, கீழ்க்கண்ட உண்மைகளை அறியலாயினர்.

(1) குளிர்ந்த வெப்பநிலையில், நுண்துளை அடைப்பான் வழியே விரிவடையும்பொழுது எல்லா வாயுக்களும் குளிர்வடைகின்றன. ஆனால் அறை வெப்பநிலையில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுக்கள் குளிர்வடையும்பொழுது ஹைடிரஜன் வெப்பம் அடைகிறது.

(2) வெப்பநிலை வீழ்ச்சி, நுண்துளை அடைப்பானின் இருபுறமும் உள்ள அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது.

(3) வாயுவின் துவக்க வெப்பநிலை உயர்வடையும்பொழுது ஒவ்வொரு வளிமண்டல அழுத்த வீழ்ச்சிக்கும், ஜூல்- கெல்வின் விளைவினால் ஏற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சி படிப்படியாகக் குறைந்து குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் சூழியாகிறது. மேலும் வாயுவின் வெப்பநிலை உயர்ந்தால், வெப்பநிலை ஏற்றம் உண்டாகும்.

ஒரு வாயுவிற்கு, எந்த வெப்பநிலைக்குமேல் ஜூல், கெல்வின் விளைவினால். குளிர்வடைதலுக்குப் பதிலாக வெப்பமுறுதல் ஏற்படுகிறதோ அந்த வெப்பநிலை, அந்த வாயுவின் புரட்டு வெப்பநிலை (Temperature of Inversion) எனப்படும். நுண்துளை அடைப்புச் சோதனையின் முடிவினைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்.

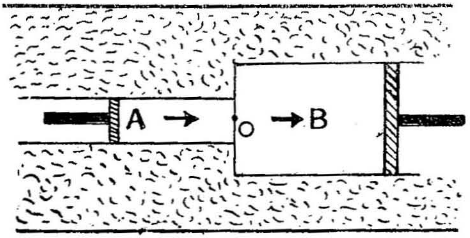
எந்த ஒரு வாயுவும், அந்த வாயுவின் ஜூல்-கெல்வின் புரட்டு வெப்பநிலைக்குக் கீழானதொரு வெப்பநிலையை உடையதாக இருக்கும்பொழுது, புறவினை செய்யாமல் ஒரு சிறு துளையின் வழியாக விரிவடையுமானால், அவ்வாயு குளிர்வடையும்.

ஜூல் - கெல்வின் விளைவிற்கான காரணம் : உருளை வடிவக் கலம் Aயினுள் உந்து தண்டினால் $T_1°A$ வெப்பநிலையில் உள்ள வாயு அடைக்கப்பட்டு இருக்கும்பொழுது அதன் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றை P_1, v_1 என்போம். ஒரு சிறுதுளை O-வின் வழியே B என்ற அறையினுள் அவ்வாயு விரிவடையும்பொழுது அதன் அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை முறையே P_2, v_2, T_2 என்போம். இரு அறைகளிலும் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் u_1, u_2 என்க.

விரிவடையும்பொழுது வாயுவினால் செய்யப்பட்ட செயல் $= P_2 v_2 - P_1 v_1$. வாயு புறவினை எதுவும் செய்யாததாலும், வெளியிலிருந்தும் வெப்பமேதும் பெறாத காரணத்தாலும் செயல் செய்யப்படுவதற்கான ஆற்றல், உள்ளார்ந்த ஆற்றல்களின் வீழ்ச்சியினால் ஈடுசெய்யப்படவேண்டும். எனவே,

$$P_2 v_2 - P_1 v_1 = v_1 - v_2$$

வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் என்பது வாயுவின் திசை வேகத்தினால் விளையும் இயக்க ஆற்றல், மூலக்கூறுகளின் இடையே செயற்படும் ஈர்ப்பு விசையால் உருவாகும் நிலையாற்றல் ஆகிய இரு ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகுதி ஆகும். வாயு விரிவடையும்பொழுது மூலக்கூறுகளுக்கு இடையிலுள்ள சராசரித் தொலைவு அதிகமாகின்றது. எனவே மூலக்கூறுகட்கு இடைப்பட்ட ஈர்ப்பு விசையின் மதிப்பு அதிகமாகும். A, B அறைகளினுள் வாயுவின் நிலையாற்றல் ρ_1, ρ_2 எனில் $\rho_1 < \rho_2$; ஆனால் மூலக்கூறுகளின் திசைவேகச் சராசரி இருமடிக்கு இயக்க ஆற்றல் நேர்விகிதத்திலிருக்கும். எனவே வெப்பநிலை வீழ்ச்சி ஏற்படின் இயக்க ஆற்றல் குறைவடையும். வாயுவின் இயக்க ஆற்றல் இரு அறைகளிலும் முறையே K_1, K_2 எனில்,



படம் 113.

$$T_1 > T_2 \text{ எனும்பொழுது } K_1 > K_2$$

$$T_1 < T_2 \text{ எனும்பொழுது } K_1 < K_2$$

இனி ஜூல்-கெல்வின் விளைவினை ஆராய்வோம்.

1. இலட்சிய வாயு: இலட்சிய வாயு பாயிலின் விதிக்கு உட்படுவதால்,

$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$

எனவே $u_1 - u_2 = 0$

அல்லது $u_1 = u_2$

அதாவது $K_1 + \rho_1 = K_2 + \rho_2$

$$\rho_1 < \rho_2 \text{ என்பதால், } K_1 > K_2$$

$$\therefore \quad T_1 > T_2$$

எனவே வாயு குளிர்வடைகிறது.

2. பாயிலின் விதிக்கு உட்படாமல், அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது Pvயின் மதிப்புக் குறைகிறது என்போம்.

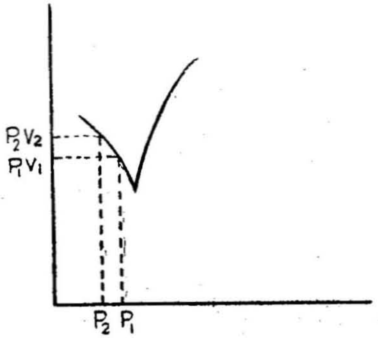
ஆகையால்,

$$P_1 v_1 < P_2 v_2$$

அல்லது $P_2 v_2 - P_1 v_1 =$ நேர்க்குறியை உடையது.

$u_1 - u_2 =$ நேர்க்குறியை உடையது.

$\therefore \quad u_1 > u_2.$



படம் 114.

$$K_1 + \rho_1 > K_2 + \rho_2$$

எனவே $K_1 > K_2$

$$T_1 > T_2$$

$\therefore$ எனவே வாயு இந் நிலையிலும் குளிர்வடைகிறது.

3. ஹைடிரஜன் போன்ற வாயுக்களுக்கு, Pயின் மதிப்பு உயரும்பொழுது Pvயின் மதிப்பும் உயருகிறது. விரிவடைந்த பின் P_2, P_1 ஐவிடக் குறைவு என்பதால்,

$$P_1 v_1 > P_2 v_2$$

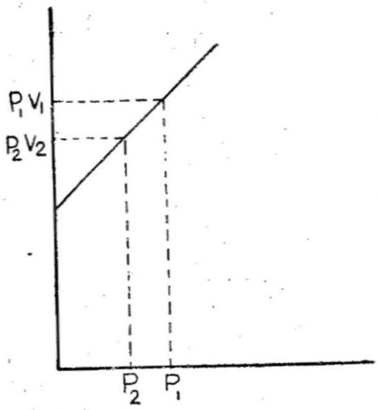
$P_2 v_2 - P_1 v_1 =$ எதிர்க்குறியை உடையது.

$u_1 - u_2 =$ எதிர்க்குறியை உடையது.

$\therefore \quad u_1 < u_2$

$$K_1 + \rho_1 < K_2 + \rho_2$$

வாயுவின் வெப்பநிலை புரட்டு வெப்பநிலைக்கும், பாயில் வெப்ப நிலைக்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும்பொழுது, மூலக்கூறுகளின் இடையேயுள்ள விசை விலக்கு விசையானதால், வாயு விரிவடைதலின்பொழுது நிலையாற்றல் குறையும். அதாவது, ρ_1, ρ_2 வை விட அதிகமாக இருக்கும்.



படம் 115.

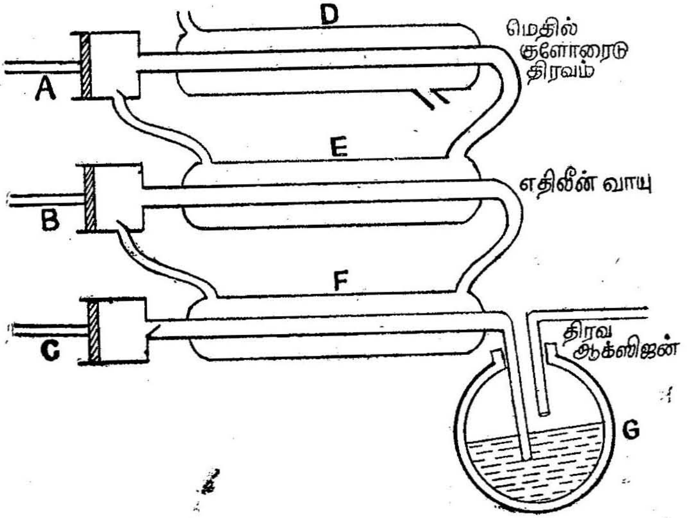
$$\therefore \quad K_1 < K_2$$

$$\therefore \quad T_1 < T_2$$

எனவே வாயு சூடு அடைகிறது. புரட்டு வெப்பநிலைக்குச் சற்று மேற்பட்ட வெப்பநிலையில் ஹைடிரஜன் இலட்சிய வாயுவைப்போல் விரிவடையும். எனவே இவ் வெப்பநிலையில் இது குளிர்வடையும்.

பிக்டேயின் அடுக்கு முறையில் வாயுவைத் திரவமாக்குதல் (The Pictets Cascade Process) : ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்குக் கீழ்ப்பட்ட வெப்பநிலையில் இருந்தால்தான் ஒரு வாயுவை, தகுந்த அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்துவதன் மூலம் குளிர்வடையச் செய்து திரவமாக்குதல் இயலும் என்று 1868-ஆம் ஆண்டு ஆண்ட்ரூஸ் தெளிவுபடுத்தினர். இதற்குப் பின்னரே வாயுக்களைத் திரவமாக்கும் வழிமுறைகள் ஆராயப்பட்டன. ஆண்ட்ரூஸின் கொள்கையைப் பின்பற்றி, ஆக்ஸிஜனைப் படிப்படியாகக் குளிர்வுபடுத்துவதன் மூலம், திரவமாக்கும் முறையை, 1878-இல் பிக்டேட் கண்டறிந்தார். இவர் அமைப்பில் வெவ்வேறு வாயுக்களைத் திரவமாக்கும் பல உபகரணங்கள் படத்தில் காட்டியவண்ணம் அமைந்துள்ளன. மெதில் குளோரைடை, முதல் குழாயின் வழியாகச் செலுத்தப் படுகிறது. இக் குழாயைச் சூழ்ந்துள்ள உறையில் குளிர்நீர் செலுத்தப்படுகிறது.

மெதில் குளோரைடின் மாறுநிலை வெப்பநிலை (Critical Temperature) 145°C ஆகும். எனவே குளிர்நீரின் வெப்ப நிலையில் (25°C) சிறிதளவு அழுத்தத்தைக்கொண்டு அதைத் திரவமாக்கச் செய்யலாம். இவ்வாறு பெறப்பட்ட மெதில் குளோரைடு திரவம், எதிலீன் வாயு செலுத்தப்படுகின்ற குழாயைச்



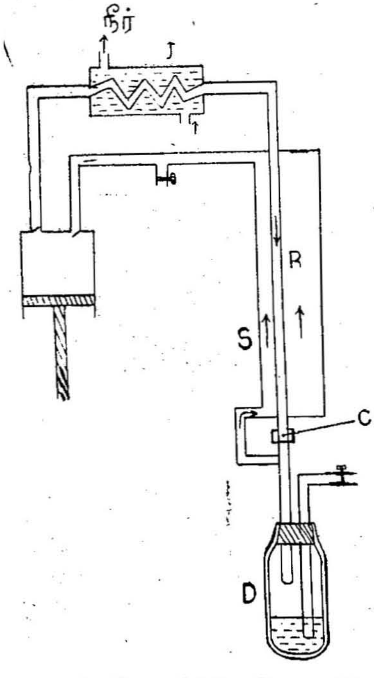
படம் 116. வாயுவைத் திரவமாக்கல் - பிக்டே முறை

சுற்றியுள்ள உறைக்குள் செல்லுகிறது. அங்குக் குறைந்த அழுத் தத்தில் அது ஆவியாக மாற்றப்படுகிறது. இதன் விளைவாக, அவ்வுறையும், உறையிலுள்ள குழாய் வழியே செல்லும் எதிலீன் வாயுவும்—90°C வெப்பநிலைக்குக் குளிர்விக்கப்படுகின்றன. எதிலீன் வாயுவின் மாறுநிலை வெப்பநிலை 10°C. எனவே—90°C வெப்பநிலையில், வெளி அழுத்தத்தால் அது திரவமாக்கப் படுகிறது.

எதிலீன் திரவம், ஆக்ஸிஜன் வாயு செலுத்தப்படுகின்ற மூன்றாவது குழாயைச் சுற்றியுள்ள உறையினுள் வந்தடைகின்றது. இங்கு எதிலீன் திரவம் குறைந்த அழுத்தத்தில் ஆவியாக்கப் படுவதால் அவ்வுறையின் வெப்பநிலை —160°Cக்குக் குறைந்து விடும். ஆக்ஸிஜனின் மாறுநிலை வெப்பநிலை —119°C ஆகும். தகுந்த அழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தி —160°C வெப்பநிலையில் ஆக்ஸிஜனைத் திரவமாக்கலாம். இத் திரவம் இதற்கெனத் தயாரிக்கப்பட்ட டிவார் குடுவையில் (Dewar's Flask) சேகரிக்கப் படுகிறது.

இம் முறையைப் பயன்படுத்திப் பல வாயுக்களைத் திரவமாக்கலாம். ஆனால் ஹைடிரஜன், ஹீலியம் ஆகிய வாயுக்களை இம் முறையில் திரவமாக்க முடியாது. ஹைடிரஜனின் மாறுநிலை வெப்பநிலை—240°*C* ஆகும். ஹீலியத்தின் மாறுநிலை வெப்பநிலை—268°*C* ஆகும். இவ் வெப்பநிலைகட்குக் கீழ் அவற்றினைக் குளிர்விப்பதற்குத் தகுந்த திரவங்கள் இல்லை.

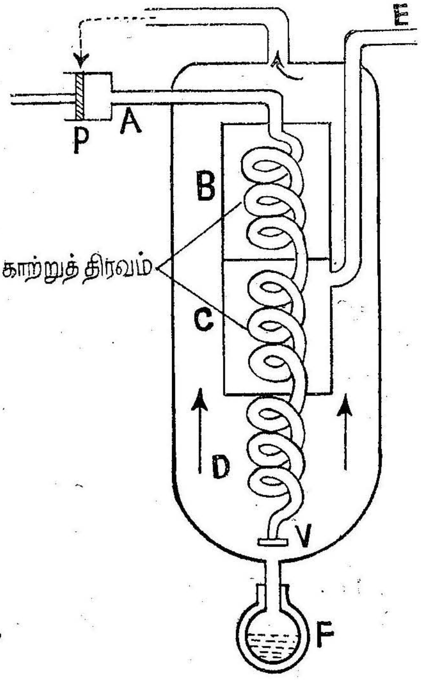
லின்டே திரவமாக்கி (Linde's Air Liquefier): ஜூல் - கெல்வின் விளைவினைப் பயன்படுத்தி வாயுவைத் திரவமாக்கும் முறையை லின்டே கையாண்டார். அவர் பயன்படுத்திய திரவமாக்கி படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதிக அழுத்தத்தை உருவாக்கும் பம்பினால் வாயு முதலில் இறுக்கப்படுகிறது. குளிர்நீர் செலுத்தப்படுகின்ற அறையினுள் உள்ள சுருள் குழாயின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு, இது முன்னதாகக் குளிர்விக்கப்படுகிறது. ஊதுகருவியினால் (Blower) வாயு சீரான வேகத்தில் செலுத்தப்படுகிறது. இக் காற்று *R* என்ற குழாயின் வழியாக *C* என்ற நுண்துளையை அடைகிறது. நுண் துளையின் வழியாக அது விரிவடைவதால் குளிர்வடைகிறது. குளிர்வடைந்த இக் காற்று *R*ஐச் சூழ்ந்துள்ள *S* என்ற குழாயின் வழியாக மேலேறுகிறது. மேலேறுங்கால், *R* குழாயின் வழியாகக் கீழ்நோக்கி வரும் காற்றைக் குளிர்விக்கின்றது. கீழ்நோக்கி வரும் குளிர்ந்த இக் காற்று, நுண்துளையின் வழியாக விரிவடையும்போது மேலும் குளிர்வடைந்து *S* வழியே மேலேறும். மேலேறும் இக் குளிர் காற்று *R* வழியே கீழே வரும் காற்றைக் குளிர்விக்கிறது. இவ்வாறு படிப்படியாகக் குளிர்விக்கப்படும் காற்றுத் தக்க வெப்பநிலையை அடைந்ததும் அதன் அழுத்தத்தாலேயே திரவமாகிவிடும். இத் திரவத்தை டீவார் குடுவையில் சேகரித்து வைத்தல் வேண்டும்.



படம் 117. லின்டே திரவமாக்கி

லின்டே திரவமாக்கியைக் கொண்டு ஹைடிரஜனைத் திரவமாக்கல் (Liquefaction of hydrogen) : ஜூல்-கெல்வின் விளைவுக்குட்படுத்தப்படும் பொழுது ஹைடிரஜன் சூடடைவதால் லின்டே திரவமாக்கியைக் கொண்டு சாதாரணமாக ஹைடிரஜனைத் திரவமாக்க முடியாது. ஹைடிரஜனின் புரட்டு வெப்பநிலை (Temperature of inversion)—83°C. இப் புரட்டு வெப்பநிலைக்குக் கீழாக ஹைடிரஜனைக் குளிர்வித்து, பின்னரே லின்டேயின் முறையைக் கையாளவேண்டும்.

ஹைட்ரஜன் முதலில் தூய்மையாக்கப்படுகிறது. முக்கியமாக, ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன் முதலியன அறவே நீக்கப்படவேண்டும்.



படம் 118.

இல்லாவிடில் இவை திடநிலையை அடைந்து வாயு செல்வதைத் தடுத்துவிடும். *P* என்ற பம்பில் இருந்து 150 வளிமண்டல அழுத்தத்தில் உள்ள ஹைடிரஜன் வாயுவைச் சுத்தப்படுத்தி *A* என்ற குழாய் வழியாக *B* என்ற சுருள் குழாய்க்கு அனுப்பப்படுகிறது. *B* என்ற குழாயைச் சுற்றி காற்றுத் திரவம் வைக்கப்பட்டுள்ளது.

இங்கிருந்து வாயு C என்ற குழாய்க்குச் செல்கிறது. Cஐச் சுற்றிலும், திரவ வடிவத்தில் உள்ள காற்றுச் சூழ்ந்துள்ளது. ஒரு பம்புடன் E என்ற குழாயை இணைப்பதன் மூலம் குறைந்த அழுத்தத்தில் இத் திரவ வடிவக் காற்றை ஆவியாக்குதல் மூலம் வாயுவின் வெப்பநிலை —208°Cக்கு வீழ்ச்சியடைகிறது. புரட்டு வெப்பநிலையை விட மிகத் தாழ்வான வெப்பநிலைக்குக் குளிர்விக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன் D என்ற சுருள் குழாய் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு, V என்ற வால்வில் ஜூல்-கெல்வின் விளைவுக்குட்பட்டு, விரிவடைகிறது. எனவே—240°C வெப்பநிலையில் திரவமாக்கப்பட்டு, டீவார் குடுவையில் சேகரிக்கப்படுகிறது. குறைந்த வெப்பநிலையில் கொதிக்கின்ற திரவ ஹைடிரஜன் உள்ள தொட்டியில், ஹைடிரஜன் திரவத்தை வைத்தால் அது திடநிலையை அடையும்.

ஹீலியம் வாயுவைத் திரவமாக்கல் (Liquefaction of helium) : சாதாரண வெப்பநிலைகளில், ஹீலியம் வாயுவை ஜூல்-கெல்வின் விளைவுக்குட்படுத்தினால் அது வெப்பமடைகின்றது. இதன் புரட்டு வெப்பநிலை —240°C ஆகும். வின்டே முறைப்படி ஹீலியத்தைத் திரவமாக்குதலில் முயன்று வெற்றி கண்டவர் காமர்லிங் ஓன்ஸ் என்பவர். முதலில் ஹீலியம், ஹைடிரஜன் முதலான மற்ற வாயுக்கள் இல்லாதவாறு நன்கு தூய்மையாக்கப்படுகிறது. குறைந்த அழுத்தத்தில் கொதிக்கின்ற ஹைடிரஜன் திரவமுள்ள தொட்டியின் வழியே ஹீலியம் செலுத்தப்படுவதன் மூலம் அதன் வெப்பநிலை —240°C ஐவிட மிகக் குறைந்து விடுகிறது. இதன்பின் ஒரு திறப்பின் வழியாகச் செலுத்தப்படும் பொழுது ஜூல்-கெல்வின் விளைவுக்குட்படுத்தப்பட்டு விரிவெய்துகிறது. அதுகாலை, மீண்டும் குளிர்வெய்தி —268°C வெப்பநிலையில் திரவமாக மாறுகிறது.

குறைந்த அழுத்தத்தில் கொதிக்கின்ற ஹீலியம் திரவமுள்ள தொட்டியில் ஹீலியம் திரவத்தைத் திடநிலைக்கு மாற்ற ஓன்ஸ் முயன்றார். ஆனால் அவ்வாறு திடப்பொருளாக்க முடியவில்லை. ஹீலியம் திரவத்தை மிக உயர்ந்த அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்துவதன் மூலம் அதைத் திடப்பொருளாக்கலாம் என்று கீஸம் (Keesom) கண்டறிந்தார். 4·2°A வெப்பநிலையில் 250 வளிமண்டல அழுத்தத்தில் திடப்பொருளாக ஹீலியம் கிடைக்கிறது.

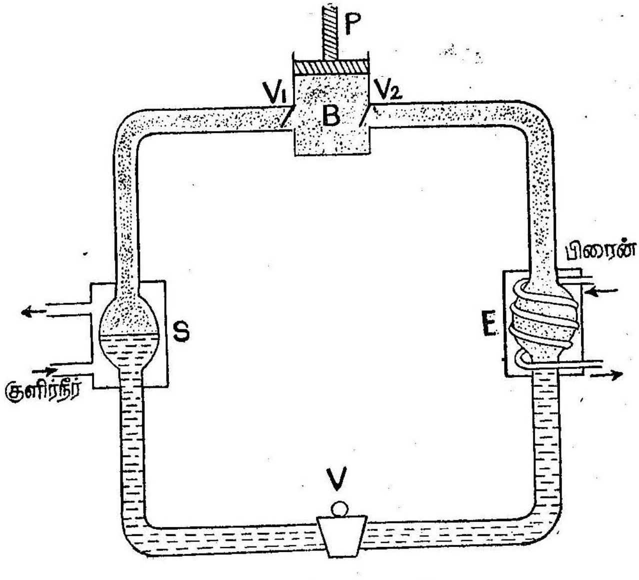
திரவ வாயுவின் பயன்கள் : (1) குறைந்த வெப்பநிலைகளில் பொருள்களின் பௌதிகக் குணங்களை அறிந்து கொள்ளப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

(2) திரவ ஆக்ஸிஜனையும், திரவ நைட்ரஜனையும் வடித்துப் பிரித்தல் (Fractional distillation) முறையில் பெறுதற்குப் பயன்படுகிறது.

(3) மிக உயர்ந்த அளவு வெற்றிடத்தை உருவாக்கப் பயன் படுகிறது.

(4) பிற வாயுக்களைத் தூய்மைப் படுத்தவும் பயன்படுகிறது.

குளிர்பதனப் பெட்டிகள் (Refrigerators): மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளை உருவாக்கக் குளிர்பதனப் பெட்டிகள் பயன்படு கின்றன. சாதாரணமாகப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்ற குளிர்பதனப் பெட்டி ஒன்றின் அடிப்படைத் தத்துவத்தைப் படத்தில் காட்டப் பட்ட அமைப்பை உடைய கருவியின் மூலம் விளக்கலாம்.



படம் 119. குளிர்பதனப் பெட்டி

பெரிய உருளை வடிவக்கலத்தில் B, உராய்வின்றி இயங்கும் உந்து தண்டு P இயக்கப்படுவதன் மூலம், கலத்திலுள்ள வாயு இறுக் கப்படுகிறது.* உயர் அழுத்தத்தை உடைய வாயு V_1 என்ற வால் வினைத் திறந்து கொண்டு, திரவமாக்கி Sனுள் நுழைகின்றது. Sஐச் சுற்றியுள்ள உறையில் குளிர்நீரைச் செலுத்துவதன் மூலம் வாயுவின் வெப்பநிலை 25°யை அடையுமாறு செய்யப்படுகிறது. இந்த ஆவி முழுவதும் திரவமாகியோ அல்லது பனி (Mist) போலாகியோ, V என்ற ஊசிவாய் வால்வின் வழியாகச் சென்று ஆவியாக்கி Eயை அடைகிறது. அங்கு அது விரைவில் ஆவி யாக்கப்படுகிறது. இதன் விளைவாக Eயைச் சுற்றி அமைக்கப் பட்டுள்ள சுருள் உலோகக் குழாயின் வழியாகச் சுற்றிக் கொண்

டிருக்கும் பிரைன் திரவம் (Brine solution) மிகவும் குளிர்ச்சியடையச் செய்யப்படுகின்றது. குளிர்ப்பதனேற்றம் தேவையான இடத்திற்கு இத் திரவத்தை எடுத்துச் செல்லலாம். இதற்குள் உருளை வடிவ கலத்தினுள், பிஸ்டன் மேல் நோக்கி நகர்வதால் அழுத்தம் குறைவுடையும். எனவே E யிலிருந்து ஆவி மேல் நோக்கிச் சென்று, V_2 என்ற வால்வினைத் திறந்து கொண்டு கலத்தினை அடையும். இச் சுற்று மீண்டும் மீண்டும் திருப்பிச் செய்யப்பட்டால் ஆவியாக்கியில் (Evaporator) — 15°Cக்குக் குறைவான கீழ் வெப்பநிலை உருவாகிறது.

தற்காலத்தில் குளிர்பதனப் பெட்டிகளில் பெரும்பாலும் அம்மோனியா, சல்பர்-டை-ஆக்ஸைடு, ஃபிரியான் முதலிய திரவங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

குளிர்பதனப் பெட்டிகளில் பயன்படும் திரவங்கள் கீழ்க் கண்ட பண்புகளை உடையனவாக இருத்தல் வேண்டும்.

(1) அறை வெப்பநிலையில் ஆவியாகவும், —15°C வெப்ப நிலையில் திரவமாகவும், 12 வளிமண்டல அழுத்தங்களுக்குக் குறைவான அழுத்தங்களில் இருக்கவேண்டும்.

(2) வளிமண்டல அழுத்தத்தைவிட, —15°C வெப்பநிலையில் அதன் ஆவி அழுத்தம் அதிகமானதாக இருக்கவேண்டும். எனவே வெளிக்காற்று ஆவியாக்கியினுள் நுழையாதிருக்கும்; தூசு (Dust) முதலான அசுத்தங்கள் இல்லாதிருக்கும்.

(3) வாயுவின் சுட்டுப்பருமன் (Specific volume of Vapour) பெரிதாக இருக்கக்கூடாது. இல்லையெனில் கருவி பெரியதாக அமைக்கப்பட வேண்டியிருக்கும்.

(4) ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் (Latent heat of Vapourisation) அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். எனவே பிரைன் திரவத்திலிருந்த அதிகமான அளவு வெப்பம் எடுத்துக் கொள்ளப் படும் காற்றுக் கட்டுபாடு (Air conditioning).

குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பநிலை, காற்றில் ஈரம் காற்றின் இயக்கம் ஆகியவை மனிதனின் உள்ளத்திற்கும், சூழ்நிலைக்கும், வசதியாக இருக்கும் எனக் கண்டு இவற்றைக் கட்டுப்படுத்த பல்வேறு ஆராய்ச்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. அத்தோடு கட்டுப்படுத்தப்பட்ட இத்தகைய சூழ்நிலையில் அச்சிடுதல், துணிகள், மருந்து, ஆடைகள் ஆகியவை தயாரித்தல் போன்ற தொழில்கள் மிக நன்றாகவும் பொருள்களின் தரம் உயர்ந்தும் இருக்கக் கண்டனர். எனவே இந்தக் காற்றுக் கட்டுப்பாடு மிக முதன்மையான இடத்தைப் பெறுகிறது.

ஓர் அறையில் வெப்பநிலையையும், ஈரத்தின் அளவையும் வேண்டிய அளவு கூட்டவோ, குறைக்கவோ செய்ய அமைப்புகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. இவையே காற்றுக் கட்டுப்பாடு (Air conditioning) எனப்படும். இந்த அளவுகள் மனிதனுக்கு மனிதன், ஆணுக்கும், பெண்ணுக்கும் தனித்தனியே மாறுபடலாம். இதற்காக வெவ்வேறு நிலைகளில் பரிசோதனைகள் செய்யப்பட்டு சராசரி வெப்பநிலையும், ஈரத்தின் அளவும் கணக்கிடப்பட்டு இதற்குத் தகுந்தவாறு அமைக்கப்படுகின்றன.

ஓர் அறையில் காற்றுக் கட்டுப்பாடு செய்யப்படும்போது அது வெளிப்புறத்திலிருந்து மிக வேறுபட்டிருப்பதாக இருக்கக் கூடாது. அத்தோடு இந்த அறையுள்ள இடத்தின் கால நிலைக்குக் (Climate) தகுந்தவாறு செய்யப்பட வேண்டும். வெப்பம் மிகுந்த நாடுகளில், வெப்பநிலையைக் குறைப்பதுதான் மிக முக்கியமான கட்டுப்பாடு ஆகும். அறையில் வெப்பக் குறைப்புப் பற்றி சொல்லும் போது நாம் ஏற்கனவே கூறியுள்ள குறை வெப்பநிலையைத் தோற்றுவிக்கும் முறைகளை நினைவுபடுத்திக் கொள்கிறோம். குளிர்பதனப் பெட்டியைப் பற்றி படித்திருக்கிறோம்.

அறையின் பரிமாணங்களுக்கேற்றவாறு சிறிய அல்லது பெரிய குளிர்பதனப் பெட்டியிலுள்ளது போன்ற ஆவியாக்கும் செம்பு குழல் சுருள் குழல் (Coil of copper tubes) உள்ளன. சல்பர்-டை-ஆக்ஸைடு திரவம் இதன் வழியே ஓடும்படிச் செய்யப் படுகிறது. இது மிகக் குறைந்த ஆவியாகும் வெப்பநிலையைப் பெற்றிருப்பதால் சுற்றுப்புறமுள்ள வெப்பத்தை எடுத்துக்கொண்டு ஆவியாகும். அப்போது செப்புக் குழல்கள் குளிரும். இதன் மீது விசிறியைக் கொண்டு காற்று வீசப்பட்டால் வெளிவரும் காற்றுக் குளிர் காற்றாய் இருக்கும். இக் காற்று நன்கு அடைக்கப் பட்ட அறைக்குள் அனுப்பப்பட்டு அங்குள்ள வெப்பநிலையைக் குறைக்கப் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. அறைக்குள்ளிருக்கும் வெப்பக் காற்று இந்த அமைப்பின் மற்றொரு பகுதியிலுள்ள வெளி யேற்றும் சாதனத்தால் (Exhaust arrangement) வெளியேற்றப் படுகிறது.

அறைகள் காற்றுக் கட்டுப்பாடு செய்யப்படும்போது அவை நன்றாக மூடப்பட்டிருக்க வேண்டும். வெளியிலிருந்து வெப்பம் புகா வண்ணம் வெப்பக் காப்பிட்டுப் பொருள்களால் (Heat insulating materials) மூடப்பட்டிருக்க வேண்டும். இதற்காகத்தான் அறையின் சுவர்கள் மாசோனைட், செலோடெக்ஸ் போன்ற பொருள்களாலும் தரை கயிற்று விரிப்புகளாலும் மூடப்படுகிறது.

இத்தோடு கூட தூசுகளை அகற்றும் சாதனமும் பொருத்தப் படலாம்.

10. மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வுகளும், வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளும்

(Isothermal And Adiabatic Operations)

1. **மாரு வெப்பநிலை மாறுபாடுகள்:** ''ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் பருமன், அழுத்தம் இவைகளில் உண்டாகும் மாற்றங்கள் மாரு வெப்பநிலையில் உண்டாகுமானுல் அம் மாற்றங்கள் மாரு வெப்பநிலை மாறுபாடுகள் எனப்படும்.''

எடுத்துக்காட்டாக உராய்வின்றி இயங்கவல்லதும், எளிதல் கடத்தியாலானதுமான ஒரு சிலிண்டருக்குள் ஓர் இலட்சிய வாயு அடைக்கப்பட்டு உள்ளதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது உந்து தண்டை உள்நோக்கி இயக்கினுல் வாயுவானது இறுக்கப்படும். அதனுல் அதன் அழுத்தம் உயர்ந்து வெப்பநிலையும் உயரும். ஆனுல் சிலிண்டர் எளிதிற்கடத்தியாக இருப்பதால் வெப்பநிலை உயர்வு வெகுவிரைவில் வெளிப்புறத்திற்குக் கடத்தப்பட்டுவிடு கிறது. இதனுல் சிலிண்டரில் உள்ள வெப்பநிலை வெளிப்புற வெப்ப நிலையிலேயே உள்ளது. மாருக உந்துதண்டை மெதுவாக வெளி நோக்கி இழுத்தோமானுல் உள்ளே அழுத்தம் குறைந்து வெப்ப நிலையும் குறைந்துவிடுகிறது. ஆனுல் இப்பொழுது வெளிப் புறத்திலிருந்து சிலிண்டருக்குள் வெப்பம் கடத்தப்பட்டு வாயுவின் வெப்பநிலை மாருததாகி விடுகிறது.

இவ்வாறு மாருத வெப்பநிலையில், ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் இவைகள் மாற்றமடைவதால் அவைகள் மாரு வெப்பநிலை மாறுபாடுகள் அல்லது மாருவெப்பநிலை நிகழ்வுகள் என அழைக்கப் படுகின்றன.

மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு: இந் நிகழ்வின் போது வெப்பநிலை மாருது இருப்பதால்,

$$PV = RT = \text{மாருத எண் அல்லது மாறிலி.}$$

எனவே $PV =$ மாறிலி என்பது

மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வுக்குரிய சமன்பாடாகும்.

2. **வெப்பமாற்றீடற்ற மாறுபாடுகள் (Adiabatic changes):** "ஒரு குறிப்பிட்ட இலட்சிய வாயு சிலிண்டருள் அடைப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். சிலிண்டரும், உந்துதண்டும் வெப்பங்கடத்தாப் பொருள்களால் ஆனவை என்க. சுற்றுப்புறத்தில் இருந்து சிலிண்டருக்குள்ளோ, அல்லது சிலிண்டரிலிருந்து சுற்றுப்புறத்திற்கோ வெப்பம் செல்லாவண்ணம் மிக விரைவாக வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றில் மாறுபாடுகள் நடைபெறுவதாகக் கொள்வோமேயானால்,இம் மாறுபாடுகளை வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகள்" என்றழைக்கின்றோம்.

மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வைப்போலவே, வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்விலும் வாயுவினால் பணியாற்றப்படுகிறது. இப் பணிக்கான உள்ளார்ந்த ஆற்றலின் இழப்பை ஈடுசெய்ய, வெளியிலிருந்து வெப்ப ஆற்றல் சிலிண்டரிலுள்ள வாயுவுக்குக் கிடைக்காது. உள்ளார்ந்த ஆற்றல் குறைவதால் வாயுவின் வெப்பநிலை குறைகிறது. எனவே வெப்பமாற்றீடற்ற பெருக்கத்தின் போது வாயு குளிர்ச்சி அடைகிறது. வெப்பமாற்றீடற்ற இறுக்கம் வாயுவுக்கு வெப்ப உயர்வை அளிக்கும்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு (Equation for Adiabatic Change): ஓர் இலட்சிய வாயுவின் மாருவெப்பநிலை நிகழ்வுகளைக் கட்டுப்படுத்துவது பாயிலின் விதியாகும். இவ் விதியின்படி, வெப்பநிலை மாருதிருக்குங்காலை ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் பருமன் (V) அதன் அழுத்தத்துடன் (P) எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும். அதாவது அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் (PV) மாருத எண்ணாகவே இருக்கும்.

ஒரு சிலிண்டருள் அடைப்பட்டுள்ள ஓரலகு நிறையுள்ள வாயுவுக்குச் சிறிதளவு வெப்பம் (dq) அளிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இதனால் அவ் வாயுவின் பருமனும் வெப்பநிலையும் உயர்வெய்தும். இந் நிகழ்வில் பருமன் மாருது இருக்கும்பொழுது வாயுவின் வெப்பநிலை dT அளவு உயருவதாகவும், பின் அவ்வுயரிய வெப்பநிலை மாருது இருக்குங்காலை, பருமனில் dv அளவு பெருக்கம் ஏற்படுவதாகவும் கொள்ளலாம். வாயுவின் வெப்பநிலை dT அளவு உயர்வடைதலால், உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் ஏற்படும் உயர்வு $= 1 \times Cv \times dT$.

அதாவது $du = C_V d_T$ ... 1

வெளி அழுத்தம் P-க்கு எதிராக, dv அளவு வாயுவின் பருமன் பெருக்கமடையுங்காலை செய்யப்படும் செயல் Pdv ஆகும்.

$\therefore \quad dw = Pdv$ எர்க்

$dw = Pdv / J$ கலோரி ... 2

கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் dQ. இவ்விரு வினைகளையும் ஒருங்கே ஆற்றுதலால்,

$$dQ = du + dw$$

அல்லது $dQ = C_V \cdot dT + \dfrac{Pdv}{J}$ ... 3

சிலிண்டர் வெப்பங்கடத்தாப் பொருளாலானது எனவும், வெளியில் இருந்து சிலிண்டருக்குள் வெப்பம் நுழைவதில்லை எனவும் கொண்டால் வெப்பமாற்றீடற்ற இந்நிகழ்வில்,

$$dQ = O.$$

எனவே, $CvdT + \dfrac{Pd\text{V}}{J} = O$ ... 4

ஓர் இலட்சிய வாயுவுக்கு, எவ் வெப்பநிலையிலும் பொருந்தும் சமன்பாடு,

$$Pv = RT.$$

இதனை வகைப்படுத்த

$$Pdv + v \cdot dP = R \cdot dT$$

dt யின் மதிப்பைச் சமன்பாடு 4இல் பதிலீடு செய்ய

$$C_V \left[\frac{P\ dv + v \cdot dP}{R}\right] + \frac{P.dv}{J} = O. \quad \ldots 5$$

ஆனல் $C_P - Cv = \dfrac{R}{J}$ (மேயரின் சமன்பாடு)

மேற்கூறிய சமன்பாட்டின் மூலம், 5ஆம் சமன்பாட்டில், Rன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தபின், J-வை விலக்கினல்

$$C_V \left[\frac{P \cdot dv + v \cdot dP}{C_P - C_V}\right] + P \cdot dv + O$$

$$C_V \cdot P \cdot dv + C_V \cdot v\, dP + C_P \cdot P \cdot dv - C_V P \cdot dv = O$$

$$C_V \cdot v \cdot dP + C_P \cdot P \,.\, dv = O \qquad \ldots \; 6$$

இச் சமன்பாட்டினை CV ஆல் வகுப்போமாயின்

$$v \cdot dP + \frac{C_P}{Cv} P \cdot dv = O$$

$\frac{C_P}{Cv}$ என்னும் தகவை நாம் γ என்ற எழுத்தாலேயே குறிப்பிடுதல் வழக்கம்.

$$vdP + \gamma P \cdot dv = O \cdot$$

இச் சமன்பாடு முழுவதையும் Pv ஆல் வகுக்க,

$$\frac{dP}{P} + \gamma \cdot \frac{dv}{v} = O.$$

தொகைப்படுத்த

$$\log P + \gamma \log v = \text{மாறுத எண்}$$

$$\therefore \quad Pv^{\gamma} = \text{மாறுத எண்} \qquad \ldots \; 7$$

இதுவே, ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகாண சமன்பாடாகும்.

ஆனால் $\quad Pv = RT \qquad \ldots \; 8$

7ஆம் சமன்பாட்டை 8ஆம் சமன்பாட்டால் வகுப்போமேயானல்

$$v^{\gamma - 1} = \frac{K}{T}$$

இங்கு K என்பது மாறுத எண்ணகும்.

அல்லது,

$$Tv^{\gamma - 1} = \text{மாறுத எண்} \qquad \ldots \; 9$$

மீண்டும் $\quad Pv = RT$

$$P^{\gamma} v^{\gamma} = R^{\gamma} T^{\gamma} = \text{மாறுத எண்} \times T^{\gamma} \qquad \ldots \; 10$$

7 ஆம் சமன்பாட்டை 10ஆம் சமன்பாட்டால் வகுக்க,

$$\frac{1}{P^{\gamma - 1}} = \frac{\text{மாறுத எண்}}{T^{\gamma}}$$

அல்லது

$$\frac{T^{\gamma}}{P^{\gamma - 1}} = \text{மாறுத எண்} \qquad \ldots \quad 11$$

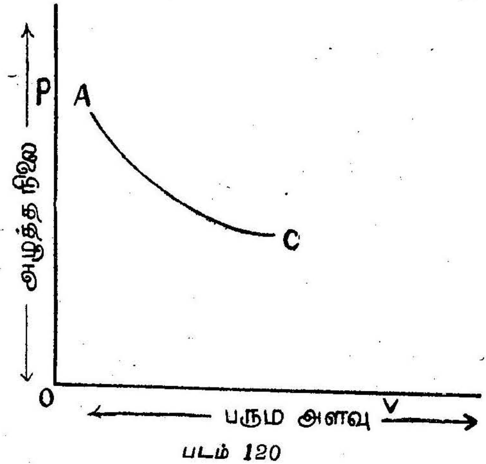
ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளைக் குறிக்கும் சமன்பாட்டின் வேறுபட்ட வடிவங்களே 7, 9, 11 ஆகிய மூன்று சமன்பாடுகளுமாம்.

PV^{γ} = மாறுத எண் என்று காண மற்றொரு முறை: ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வை AC என்ற வரை படம் மூலமாகக் குறிப்போம். AC என்ற. வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வை Pv^n = மாறிலி என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடுவோம். இங்கு P, v என்பது வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் இவைகளையும், n என்பது ஒரு மாறுத எண்ணையும் குறிக்கின்றன என்போம். வாயுவின் அழுத்தம் dP என்ற அளவு அதிகரிப்பதாகவும், அதன் பொருட்டு பருமன் dv அளவு குறைவதாகவும் கொள்வோம்.

எனவே,

இப்பொழுதுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $= P - dP$

வாயுவின் பருமன் $= V - dV$



படம் 120

$$\therefore \quad (P + dP)\,(V + dV)^{n} = PV^{n}$$

$$PV^{n} \left(1 + \frac{dP}{P}\right) \left(1 + \frac{dV}{V}\right)^{n} = PV^{n}$$

$$\left(1+\frac{dP}{P}\right)\left(1+\frac{dV}{V}\right)^{n}=1$$

$$\left(1+\frac{dP}{P}\right)\left(1+n\cdot\frac{dV}{V}\right)=1$$

(பைனுமியல் கொள்கைப்படி)

dp, *dv* இவைகளின் மதிப்புச் சிறுமமாதலால் அவைகளின் பெருக்குத் தொகையை விட்டுவிடலாம்.

எனவே,

$$1+\frac{dP}{P}-n\cdot\frac{dV}{V}=1$$

$$\therefore\quad \frac{dP}{P}=n\cdot\frac{dV}{V}$$

$$\therefore\quad \frac{dP}{dV}=n\cdot\frac{P}{V}.$$

இங்கு $\frac{dP}{dV}$ என்பது வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டத்தையும், $\frac{P}{V}$ என்பது மாரு வெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டத்தையும் குறிக்கின்றன. ஆனுல் வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம் $= \gamma \times$ மாருவெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டம் என்று நிரூபிக்கலாம்.

இங்கு γ என்பது வெப்ப எண்களின் தகவாகும்.

எனவே

$$n=\gamma$$

$\therefore\ PV^{\gamma}=$ மாருத எண் என்பது வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்குரிய சமன்பாடாகும்.

மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வின்போது செய்யப்படும் செயல்: ஓரலகு நிறையுள்ள ஓர் இலட்சிய வாயு மாரு வெப்பநிலை மாறுபாடுகளை அடைவதாகக் கருத்திற் கொள்வோம். மாருத வெப்பநிலையில் வாயுவின் அழுத்தம் P என இருக்கும்போது பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாடு dv என்போம். வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக வாயுவினுல் செய்யப்படும் பணி $pw = P.\,dv$. மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வின்போது, வாயுவின் பருமன் v_1-ல் இருந்து v_2 ஆக மாறினுல் வாயுவினுல் செய்யப்பட்ட மொத்த செயல்

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P \cdot dv .$$

பாயிலின் விதிப்படி,

$$Pv = RT$$

$$\therefore \quad P = \frac{RT}{v}.$$

$$\therefore \quad W = \int_{v_1}^{v_2} RT . \frac{dv}{v}.$$

$$W = RT \log e \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வின்போது செய்யப்படும் செயல்: ஒரு கிராம் நிறையுள்ள வாயு, வெப்ப மாற்றீடற்ற மாறுபாட்டினை எய்துவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் பருமனில் ஏற்படும் மாறுபாடு dv எனில் செய்யப்பட்ட செயல் pdv ஆகும். வாயுவின் பருமன் v_1லிருந்து v_2ஆக வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் உயர்வடையும் பொழுது

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P \, dv.$$

ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K.$$

$$\therefore \quad P = \frac{K}{v^{\gamma}}$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} K \frac{dv}{v^{\gamma}}$$

$$= K \left[\frac{v^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right]_{v_1}^{v_2}$$

$$= \frac{K}{1-\gamma} \left[v_2^{\ 1-\gamma} - v_1^{\ 1-\gamma} \right]$$

ஆனால் $K = P_1 v_1^{\ \gamma} = P_2 v_2^{\ \gamma}$

$$W = \frac{1}{1-\gamma} \left[P_2 v_2^{\ \gamma} \ v_2^{\ 1-\gamma} - P_1 v_1^{\ \gamma} \ v_1^{\ 1-\gamma} \right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma} [P_2 v_2 - P_1 v_1]$$

இந் நிகழ்வின்போது, வாயுவின் வெப்பநிலை T_1-லிருந்து T_2 ஆக மாறுகின்றதெனில்,

$$P_1 v_1 = RT_1 : P_2 v_2 = RT_2$$

$$\therefore \ W = \frac{1}{1-\gamma} (T_2 = T_1).$$

மாறு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகமும், வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகமும் (Isothermal And Adiabatic Elasticity): ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் அழுத்தம் dP அளவு மாறும் பொழுது, அதன் பருமன் dv அளவு மாறுவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் தொடக்கப் பருமன் v எனில்,

$$\text{வாயுவின் திரிபு (Strain)} = \frac{dv}{v}.$$

$$\text{தகைவு (Stress)} = dp.$$

எனவே வாயுவின் பரும மீட்சிக் குணகம் (Volume Elasticity)

$$E = \frac{dP}{-dv/v} = -\frac{v \cdot dP}{dv}.$$

அழுத்தம் அதிகமானால் பருமன் குறையும் அல்லது அழுத்தம் குறைந்தால் பருமன் அதிகரிக்கும் என்பதை எதிர்க்குறி குறிக்கிறது. ஓர் இலட்சிய வாயுவின் சமவெப்பநிலை நிகழ்வுகளுக்கான சமன்பாடு,

$$PV = RT.$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$Pdv + vdP = O.$$

$$\therefore \quad vdP = -Pdv$$

$$-\frac{vdP}{dv} = +P.$$

ஆகையால் பருமமீட்சிக் குணகம் $E_1 = P.$

வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம்: ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K.$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$v^{\gamma} dP + P\gamma v^{\gamma - 1} dv = O$$

$$vdP + \gamma Pdv = O.$$

அல்லது

$$-\frac{dP}{dv/v} = +\gamma P$$

எனவே பருமமீட்சிக் குணகம் $E_2 = +\gamma P$

$$\frac{\text{வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம்}}{\text{மாறு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகம்}} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$= \frac{\gamma P}{P} = \gamma = \frac{CP}{Cv}.$$

எனவே, ஒரு வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம், மாறு வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகம் ஆகிய இரண்டுக்கும் இடையேயுள்ள தகவு அவ் வாயுவின் அழுத்தம் மாறு வெப்ப எண் CP பருமன் மாறு வெப்ப எண் Cv ஆகிய இரண்டுக்கும் இடையேயுள்ள தகவிற்கு (γ) சமமாகும்.

மாறு வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டத்திற்கும், வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டத்திற்கும் உள்ள தகவு (Ratio Between Slope of the Isothermal And Slope of Adiabatic): ஒரு இலட்சிய வாயுவின் மாறுவெப்பநிலை நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv = K \text{ (மாறிலி)}$$

இதனை வகைப்படுத்தினால்,

$$Pdv + v \cdot dP =).$$

$$\therefore \frac{dP}{dv} = - \frac{P}{v}.$$

$$\therefore \text{ மாருவெப்பநிலைக்கோட்டின் வாட்டம்} = \frac{dP}{dv} = -\left(\frac{P}{u}\right.$$

ஓர் இலட்சிய வாயுவின் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$Pv^{\gamma} = K \text{ (மாறிலி)}$$

இதனை வகைப்படுத்த,

$$v^{\gamma} dP + P\gamma v^{\gamma - 1} dv = 0.$$

$$vdP + \gamma Pdv = 0$$

$$\frac{dP}{dv} = -\frac{\gamma P}{v}$$

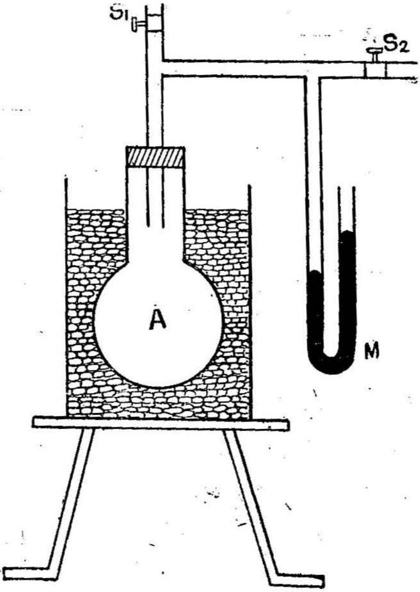
$$\therefore \text{ வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்} = \frac{dP}{dv} = -\frac{\gamma P}{v}$$

$$\therefore \frac{\text{வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்}}{\text{மாரு வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டம்}} = \frac{-\frac{\gamma P}{v}}{-\frac{P}{v}}$$

ஆகையால் வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம் மாரு வெப்ப நிலைக்கோட்டின் வாட்டத்தைப் போல் γ மடங்காகும்.

வெப்ப எண்களின் தகவைக் காணல், க்லெமெண்ட் - டிசார்ம்ஸ் முறை, (Clement And Desormes' Methode of determining Ratio of Specific heats): கொடுக்கப்பட்ட வாயு ஒரு பெரிய குடுவையினுள் அடைக்கப்பட்டு உள்ளது. இக்குடுவையை (A) ஒரு துளை உள்ள இரப்பர் அடைப்பானால் மூடி, துளையின் வழியாக, மூன்று கிளைக் குழாய்களை உடைய ஒரு கண்ணாடிக் குழாயைச் செருகவேண்டும். ஒரு குழாய் M என்ற அழுத்த மானியுடன் ஓர் அடைப்பான் S_2 வழியாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அழுத்தமானித் திரவமாகக் கந்தக அமிலம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மற்றொரு குழாய் S_1 என்ற அடைப்பானால் மூடப்பட்டுள்ளது.

குடுவை ஒரு மரப்பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டு, சுற்றிலுமுள்ள இடைவெளி, பஞ்சு கம்பளி போன்ற அரிதில் கடத்திகளால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது.



படம் 121. வெப்ப எண்களின் தகவு—க்லெமெண்ட் டிசார்ம்ஸ் முறை

வளிமண்டல அழுத்தத்தை (P_o)விட சற்று அதிகமான அழுத்தத்தில் (P) குடுவை கொடுக்கப்பட்டுள்ள வாயுவினுல் நிரப்பப்படவேண்டும். அழுத்தமானியின் புயங்களில் திரவ மட்டங்கள் நிலையாக நின்றபின், அடைப்பட்டுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தை அளவிடலாம். குடுவையிலுள்ள வாயுவின் தனி வெப்பநிலை T° வெளிக்காற்றின் வெப்பநிலையே ஆகும். அடைப்பான் S_2 வைத் திடீரெனத் திறந்து உடனே மூடிவிடவேண்டும். வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் காற்றுத் திடீரென விரிவடைந்து வளிமண்டல அழுத்தத்தை (Po) அடையும். மேலும் அதன் வெப்பநிலை T°க்குக் குறைந்துபோகும். இந் நிகழ்வைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$\frac{P_1^{\gamma - 1}}{T_1^{\gamma}} = \frac{P_0^{\gamma - 1}}{T_0^{\gamma}}$$

$$\left[\frac{P_1}{P_0}\right]^{\gamma - 1} = \left[\frac{T_1}{T_0}\right]^{\gamma} \quad \ldots \quad 1.$$

குடுவையிலுள்ள காற்று, சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்று, மெல்ல வெளிக்காற்றின் வெப்பநிலையை (T_1) அடையும். அழுத்தமானியில் திரவமட்டங்கள் நிலலாக நின்றபின் வாயுவின் அழுத்தம் அளவிடப்படுகிறது. அதை P_2 என்க. இம்மாறு பாட்டின்பொழுது, வாயுவின் அழுத்தமும், வெப்பநிலையும் முறையே P_0, T_0 என்னும் மதிப்புகளிலிருந்து P_1. T_1 என்னும் மதிப்புகளை அடைகின்றன.

எனவே சார்லஸ் விதியின்படி,

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_2}{T_1}$$

(அல்லது)

$$\frac{P_0}{P_2} = \frac{T_0}{T_1} \quad \ldots \quad 2$$

முதல் சமன்பாட்டையும், இரண்டாவது சமன்பாட்டையும் ஒப்பிட,

$$\left[\frac{P_1}{P_0}\right]^{\gamma - 1} = \left[\frac{P_2}{P_0}\right]^{\gamma}$$

$$(\gamma\text{-}1) \quad (log\ P_1 - log\ P_0) = \gamma\ (log\ P_2 - log\ P_0)$$

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{log\ P_2 - log\ P_0}{log\ P_1 - log\ P_0}$$

$$\gamma = \frac{log\ P_1 - log\ P_0}{log\ P_1 - log\ P_2}$$

பரிசோதனையின் துவக்கத்திலும், இறுதியிலும் அழுத்மானியில் திரவமட்டங்களின் உயர வேறுபாடுகள் முறையே h_1. h_2 என்க. அழுத்தமானித் திரவத்தின் அடர்த்தி ρ என்க.

$$P_1 = P_0 + h_1\ \rho$$

$$P_2 = P_0 + h_2\ \rho$$

$$log_e\ P_1 = log_e\ (P_0 + h_1\ \rho)$$

$$= \log_e P_0 \left[1 + \frac{h_1 \rho}{P_0} \right]$$

$$= \log_e P_0 + \log_e \left[1 + \frac{h_1 \rho}{P_0} \right]$$

$$= \log_e P_0 + \frac{h_1 \rho}{P_0}$$

இதுபோலவே,

$$\log_e P_2 = \log_e P_0 + \frac{h_2 \rho}{P_0}$$

$$\gamma = \frac{\log_e P_1 - \log_e P_0}{\log_e P_1 - \log_e P_2}$$

$$= \frac{\log_e P_0 + \frac{h_1 \rho}{P_0} - \log_e P_0}{\log_e P_0 + \frac{h_1 \rho}{P_0} - \log_e P_0 - \frac{h_2 \rho}{P_0}}$$

எனவே $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$

இச் சோதனையின் குறைபாடுகள் : அடைப்பான் திறக்கப் பட்ட உடனேயே குடுவையில் உள்ள வாயு வளிமண்டல அழுத்தத்தை அடையுமளவிற்கு விரிவடைகின்றதா என்பதை நிச்சயமாகக் கூற இயலாது. மேலும் அடைப்பானைத் திறந்து மூடியவுடனே வாயுவின் அழுத்தத்தை அளவிட இயலாது.

குண்ட் குழாய் முறை (Kunt's Tuboe Method) : ஒரு வாயுவில் ஒளியின் திசை வேகத்தை (V), நியூட்டன் என்பார்,

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

என்ற சமன்பாட்டை நிறுவினர். இச் சமன்பாட்டில் E என்பது அவ் வாயுவின் பரும மீட்சிக் குணகம், ρ வாயுவின் அடர்த்தி யாகும். ஒலி ஒரு வாயுவில் செல்லும்பொழுது இறுக்கங்களும் நெகிழ்ச்சிகளும் மாறிமாறி மிக விரைவாக வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படுவதால். மேற்கூறிய சமன்பாட்டில், வெப்ப மாற்றீடற்ற பரும மீட்சிக் குணகத்தையே பயன்படுத்தவேண்டும் என "லேப்லாசு" (Laplace) என்பவர் கண்டுணர்ந்தார். எனவே,

வெப்பமாற்றீடற்ற பருமமீட்சிக்

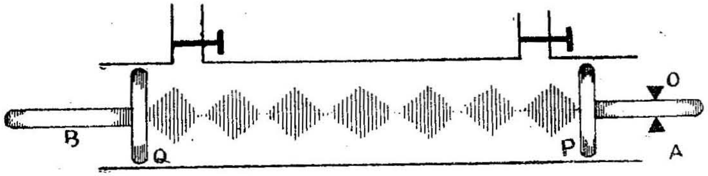
$$\text{குணகம் } E = -v.\frac{dP}{dv} = +\gamma P.$$

இச் சமன்பாட்டில் P என்பது வாயுவின் அழுத்தம்; எதிர்க்குறி, $\frac{d\rho}{dv}$-ன் மதிப்பு எதிர்க்குறியை உடையதென குறிக்கிறது. எனவே,

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

கொடுக்கப்பட்ட வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகத்தின் மதிப்பை, இச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால், அவ் வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் காண்பதற்குக் குண்ட் குழாயைப் பயன்படுத்தலாம். இக் கருவி ஒரு மீட்டர்



படம் 122.

நீளமுள்ள, கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்பெற்ற கண்ணுடிக்குழாயை உடையது. குழாயின் ஒருமுனை ஒரு உந்துதண்டால் மூடப் பட்டுள்ளது. மறுமுனையில் ஒரு நீளமான உலோகத்தண்டின் முனையில் பொருத்தப்பட்ட அடைப்பான் P உள்ளது. A என்ற தண்டு, அதன் மையப்புள்ளியில் இறுக்கிப் பிடித்தவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. குழாயினுள் ஈரமற்ற மரத்தூள் சீராகத் தூவப்பட்டுள்ளது.

குழாயினுள் காற்று இருக்கும்பொழுது, மரப்பிசினூட்டப் பெற்ற தோலின் உதவியால் A என்ற தண்டினை நீளவாக்கில் அதிர்வூட்டவேண்டும். உந்து தண்டினைத் தேவையானவாறு நகர்த்தி, குழாய்க்குள் நிலை அலைகள் (Stationarvy Wares) உருவாகுமாறு செய்தல்வேண்டும். இந் நிலையில் மரத்தூள்கள் சம தூரங்களில் குவிந்து நிற்கும். இவை குவிந்து நிற்கும் புள்ளி கள் கணுக்கில் (Noeles) என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_1) அளந்து கொள்ளவேண்டும். குழாயினுள், காற்றுக்குப் பதிலாக, வாயு இருக்குமாறு செய்து, சோதனையைத் திரும்பச் செய்து, அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_2) அளந்துகொள்ளவேண்டும். காற்றிலும், வாயுவிலும், ஒளியின் திசை வேகங்கள் முறையே V_1, V_2 எனில்,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

V_2-ன் மதிப்புத் தெரியுமேயாயின், வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம். இம் மதிப்பை 1ஆம் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமேயானால், அவ் வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவைக் (γ) கணக்கிட்டறியலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 76 செ.மீ. அழுத்தத்திலும், 27°C வெப்பநிலையிலும் உள்ள ஓர் இலட்சிய வாயுவின் பருமன், வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில், இரண்டில் ஒரு பங்காக இறுக்கப்படுகிறது. இந் நிகழ்வின் இறுதியில் ஏற்படும் வெப்பநிலையையும், அழுத்தத்தையும் கணக்கிடுக. $C_V = 0{\cdot}3$ கலோரி/கிரரம்.; $C_P = 0{\cdot}42$ கலோரி/கிராம் என்க.

வெப்ப எண்களின் தகவு $\gamma = \frac{C_p}{Cv} = \frac{O{\cdot}42}{O{\cdot}3} = 1{\cdot}4.$

$P_1 = 76$ செ.மீ.

$T_1 = 27°C = (273 + 27)\,A = 300°A.$

துவக்கப் பருமனை v_1 எனக் கொள்வோம். எனவே இறுதி பருமன் $= \frac{V_1}{2}$. வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு,

$$T V^{\gamma-1} = \text{மாறுத எண்}$$

(அல்லது) $$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left[\frac{V_1}{V_2}\right]^{\gamma-1}$$

$$= \left[\frac{v_1}{v_1/2}\right]^{1.4-1\cdot}$$

$$0{\cdot}4$$

$$= 2$$

பருமஅச்சுக்கு இணையான பகுதியே கிடையாது. இவ் வெப்ப நிலையில் திரவ, வாயு நிலைகளின் பண்புகள், பிரித்துணர இயலாத வாறு ஒன்றுபட்டனவாகும். இவ் வெப்பநிலையை, மாறுநிலை வெப்ப நிலை (Critical Temperature) என்கிறோம். இவ் வெப்பநிலைக்கான சமவெப்பநிலைக்கோட்டை மாறுநிலை மாறா வெப்பநிலைக்கோடு (Critical Isothermal) என்றழைக்கிறோம். இச் சமவெப்பநிலைக் கோட்டில் கிடைக்கோட்டுப் பகுதியாக அமையும். புள்ளி மாறு நிலைப்புள்ளி (Critical point) ஆகும். மாறுநிலைப் புள்ளியில் வாயுவின் அழுத்தம் நிறை அலகு பருமன் ஆகியவை முறையே மாறுநிலை அழுத்தம் (Critical pressure) மாறுநிலை பருமன் (Critical volume) எனப்படும்.

மாறு வெப்பநிலையைவிட அதிகமான வெப்பநிலையைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு உடையதாக இருக்கும்பொழுது எவ்வளவு அழுத்தத்தை அதன்மேல் செயல்படுத்தினாலும், அது திரவமாக மாறுவதில்லை. 48·1°C வெப்பநிலையில் இவ் வாயுவின் மாறா வெப்ப நிலைக்கோடு, காற்றின் மாறா வெப்பநிலைக்கோடுகளைப் போலவே காணப்படுகின்றன.

ஆண்ட்ரூஸ் பரிசோதனையின் முடிவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு தொகுக்கலாம்.

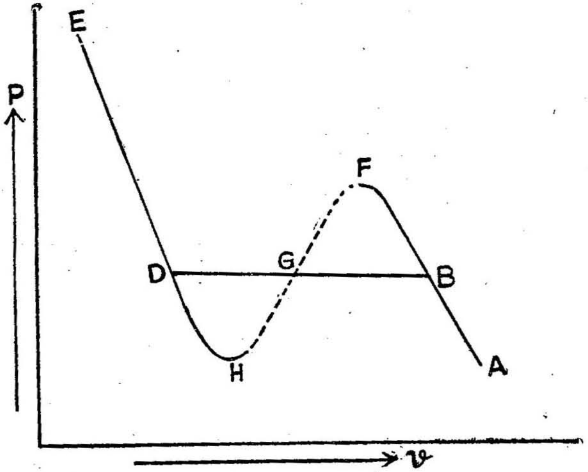
(1) நிரந்தர வாயுக்களுக்கும், எளிதில் திரவமாகக் கூடிய வாயுக்களுக்கும் உண்மையான வேறுபாடு கிடையாது. எந்த வாயுவையும் அதன் வெப்பநிலை மாறு நிலை வெப்பநிலையைவிடக் குறைவாக இருப்பின் திரவமாக்க இயலும்.

(2) தொடர்ந்த பௌதிக மாற்றங்களின், வேறுபட்ட கட்டங்களே திட, திரவ, வாயுநிலைகளாகும்.

(3) வாயுக்கள். அவற்றின் மாறுநிலை வெப்பநிலைகளைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலைகளை உடையனவாக இருக்கும்பொழுது ஒன்றேபோல் ஒழுகுகின்றன.

ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் புனைவுகோள் (James Thomson's Hypothesis): ஆண்ட்ரூஸின் மாறா வெப்பநிலைக்கோடுகளை ஆராயும்பொழுது, மாறுநிலை வெப்பநிலை அருகில் இலட்சிய வாயுச் சமன்பாடு $PV = RT$ என்பதற்குச் சிறிதளவுகூட உட்படாமல் இயற்கையில் கிடைக்கும் வாயுக்கள் மாறுபாடு அடைகின்றன. இதைவிடக் குறைவானவெப்பநிலைகளில் பாயிலின் கருத்துப் பயனற்றது என்பது தெளிவு. திரவ, வாயுநிலைகளின் தொடர்ச்சியை உறுதி செய்யும்

வண்ணம் ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் ஒரு கருத்தை வெளியிட்டார். மாறுநிலை வெப்பநிலைக்குக் கீழே வரையப்பெறும் மாரு வெப்பநிலைக் கோட்டில் AB, DE என்ற பகுதிகள் உண்மையிலேயே தொடர்ச்சியான மாறுபாடுகளைக் குறிக்கின்றன. ஆனால் BC என்ற கிடைக் கோட்டுப் பகுதி ஒரு தொடர்ச்சியில்லாத மாறுதலைக் குறிக்கிறது. எனவே அதற்குப் பதிலாகப் படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு $BFGHD$ என்ற வளைவான பகுதி இருக்கவேண்டும். அவ்விதமிருக்குமேயானால் அது ஒரு தொடர்ச்சியான மாறுதலைக் குறிக்கிறது.



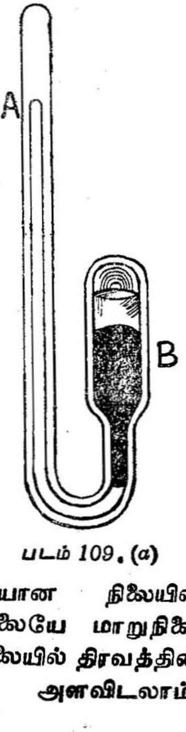
படம் 108.

அதாவது வாயுநிலையில் இருந்து பொருள் முழுவதும் சேர்ந்தாற்போல் திரவநிலைக்கு மாற வேண்டும் என்பது இதன் பொருளாகும். இவ்வளைவு கோட்டில், DH மீச்சூடேற்றுத் (Super Heating) தன்மையையும், BF மீக்குளிர்வுத் (Super Cooling) தன்மையையும் குறிக்கும். HGF என்ற பகுதிக்குச் சோதனைச் சான்றுகள் கிடையாது. DH, BF என்பவை உறுதியற்ற பகுதிகளைத்தான் குறிக்கின்றன. எனவேதான் இதை ஜேம்ஸ்தாம்ஸன் புனைவுகோள் என்கிறோம்.

பரிசோதனைகளின் விளைவாக, வரையப்பெறும் மாரு வெப்ப நிலைக்கோடுகளுடன் இவை ஒத்த தன்மை உடையன அல்ல. மாறாக ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் புனைவுகோளின்படி மாற்றியமைக்கப் பட்ட ஆண்ட்ருஸின் கோடுகளை வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாடு கொடுக்கும்.

ஆகையால் வான்டர்வால்ஸ் மாறிலிகளையும், வாயு மாறிலியையும் தனித்தனியே கணக்கிட இயலுமேயாயின், மாறுநிலை மாறிலி களின் மதிப்புகளை அறிதல் இயலும்.

மாறுநிலை மாறிலிகளின் மதிப்புகளைச் சோதனை மூலம் காணல் : மாறுநிலை மாறிலிகளின் மதிப்புகளை நிர்ணயிக்க 1862ஆம் ஆண்டு காக்னியார்டு டிலாடூர் (Cagniard delatour) ஒரு எளிய சோதனை யைச் செய்தார். இவருடைய கருவி J வடிவில் வளைக்கப்பட்ட ஒரு நீண்ட குழாய் Aயை உடையது. இக் குழாய் குட்டையான, ஆனால் அகன்ற மற்றொரு குழாய் Bயுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. நீளமான குழாயினுள் காற்றும், சிறிய குழாயில் திரவமும், அத் திரவத்தின் ஆவியும் வைக்கப் பட்டுள்ளன. காற்றும், திரவமும் ஒரு பாதரசத் தம்பத்தினால் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. இரு குழாய் களின் முனைகளும் மூடப்பட்டு உள்ளன. Bயில் உள்ள ஆவியின் அழுத்தத்தை அளக்க, நீண்ட குழாய் A ஒரு இறுக்கப்பட்ட காற்றழுத்த மானியாகச் செயல்படுகிறது.



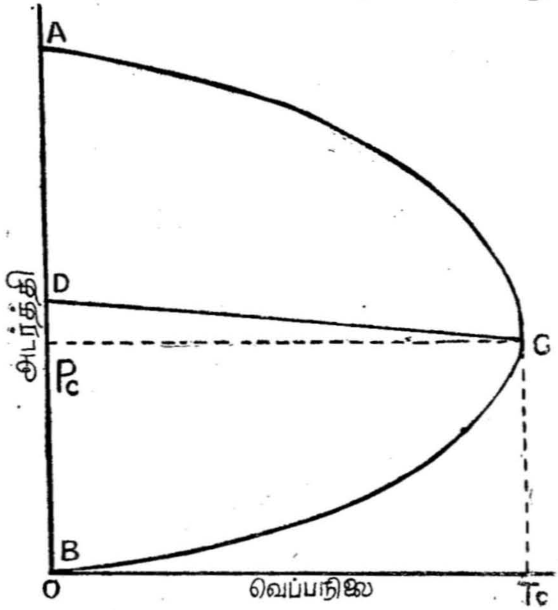
படம் 109. (a)

இக் கருவியினை ஒரு நீர்த்தொட்டியினுள் வைத்து மெதுவாகச் சூடேற்ற வேண்டும். வெப்பநிலை உயர உயர திரவமட்டம் மெல்ல மெல்ல தட்டையாகிக்கொண்டே வரும். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் திரவத்துக்கும், ஆவிக்கும் இடையே உள்ள பரப்பு மறைந்து, திரவமும் ஆவியும் ஒரே மாதிரியான நிலையில் இருப்பதுபோலத் தோன்றும். இவ் வெப்பநிலையே மாறுநிலை வெப்பநிலை T_C ஆகும். மாறுநிலை வெப்பநிலையில் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தத்தை நேரிடையாக அளவிடலாம். இதுவே மாறுநிலை அழுத்தம் P_C எனலாம்.

வெப்பநிலையில் சிறிய அளவு மாறுபாடு ஏற்படுமாயினும் பருமனில் மிகுந்த அளவு மாற்றம் ஏற்படுதலால், மாறுநிலைப் பருமனைக் கணக்கிடுதல் எளிதல்ல. திரவங்களின் அடர்த்தி களையும் அவைகளின் தெவிட்டு ஆவி அடர்த்தியையும் அளந்து வரைப்படம் வரைதல் வாயிலாகக் கைலட்டெட், மத்தியாஸ் (Cailletet And Mathias) ஆகியவர்கள் மாறுநிலைப் பருமனை அளவிட்டனர்.

படத்தில் AC, வெப்பநிலை உயர்விற்கேற்ப திரவத்தின் அடர்த்தி குறைவதைக் குறிக்கின்றது. BC வெப்பநிலை ...

கேற்ப தெவிட்டு ஆவியின் அடர்த்தி அதிகமாவதைக் குறிக்கின்றது. வெப்பநிலை உயர உயர திரவத்தினுடைய அடர்த்தியின் மதிப்பும், அத் திரவத்தினுடைய ஆவியின் அடர்த்தியின் மதிப்பும் ஒன்றையொன்று நெருங்குவது வரைப்படம் மூலமாகத் தெளிவாக்கப்படுகிறது. மாறுநிலைப் புள்ளியில் அவற்றின் மதிப்புகள் ஒன்றேயாம். ஒவ்வொரு வெப்பநிலையிலும் திரவம்,



படம் 110.

விட்டிய ஆவி ஆகியவற்றின் சராசரி அடர்த்தியைக் குறித்து ஒரு வரைப்படம் வரைவோமாயின், அது ஒரு நேர்க்கோடாக (DC) அமையும். இந்த நேர்க்கோட்டு விட்டமும், மாறுநிலையில் வரையப்படும் நிலை ஆயமும் (Ordinate) ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கும். அப் புள்ளிக்கான அடர்த்தியை ρ_C எனக் கொள்வோமாயின், மாறு நிலைபருமன் $V_C = \dfrac{1}{\rho_C}$ ஆகும்.

வான்டர்வால்ஸ் மாறிலிகளை நிர்ணயித்தல் : (1) ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை இருவேறு நிலைகளுக்கு அறிந்து கொள்வதன் மூலம், வான்டர்வால்ஸ் மாறிலிகள் a, b ஆகியவை அடங்கிய இரு சமன்பாடுகள் கிடைக்கும். இவ்விரு ஒழுங்கமைச் சமன்பாடுகளைத் தீர்க்க a, b ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் கிடைக்கும்.

2. மாறுநிலை மாறிலிகள் மூலம், மாறுநிலை அழுத்தம் மாறுநிலை வெப்பநிலை ஆகியவற்றை P_C, T_C என்போமேயாயின்,

$$PC = \frac{a}{27b^2}$$

$$TC = \frac{8a}{27Rb}$$

$$\frac{T_C}{P_C} = \frac{8a}{27Rb} \times \frac{27b^2}{a}$$

$$= \frac{8b}{R}.$$

$$\therefore \ b = \frac{R}{8} \cdot \frac{T_C}{P_C}$$

$$\frac{T_C^2}{P_C} = \frac{64a^2}{27\,R^2b^2} \times \frac{27b^2}{a}$$

$$= \frac{64}{27} \cdot \frac{a}{R^2}$$

$$\therefore \ a = \frac{27R^2}{64} \cdot \frac{T_C^2}{P_C}$$

மாறுநிலை அழுத்தம், மாறுநிலை வெப்பநிலை, வாயு மாறிலி ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் தெரியுமேயாயின், வான்டர்வால்ஸ் மாறிலிகளைக் கணக்கிடலாம்.

வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டின் நற்பண்புகள்: 1. வான்டர் வால்ஸ் சமன்பாடு எளிமையானது.

2. மற்ற வாயுச்சமன்பாடுகளைப் போலன்றி, அதிக வெப்ப நிலைப் பகுதிகளுக்குப் பல வாயுக்களுக்குப் பொருத்தமானதாக இச் சமன்பாடு விளங்குகின்றது.

3. ஜேம்ஸ்தாம்ஸன் புனைவுகோளின்படி திருத்தி அமைக்கப் பட்ட ஆண்ட்ரூஸின் மாறா வெப்பநிலைக்கோடுகளையே இச் சமன் பாடு கொடுக்கின்றது.

4. மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு மேல், சற்றே அதிகமான வெப்ப நிலைகளில் உள்ள வாயுக்கள் இச் சமன்பாட்டுக்கு முழுதும் உட்பட்டு நடக்கின்றன.

வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டின் குறைபாடுகள்: 1. மாறு நிலைப் புள்ளி அருகில் வாயுக்கள் இச் சமன்பாட்டுக்கு உட்பட்டு ஒழுகுவதில்லை.

2. வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டின்படி a, b ஆகியவை மாறிலிகளாகும். ஆனால் வெப்பநிலையைப் பொருத்து இவற்றின் மதிப்புகள் மாறுபடும் என்பதைச் சோதனைகள் தெளிவாக்குகின்றன.

3. இச் சமன்பாட்டின்படி, எல்லா வாயுக்களுக்கும் $\frac{V_C}{b}$-யின் மதிப்பு 3 ஆகும். ஆனால் இதன் மதிப்பு 1·4 முதல் 2·8 வரை மாறுபடுவதாகச் சோதனைகள் காட்டுகின்றன.

4. $\frac{RT_C}{P_C V_C}$ என்னும் தகவு மாறுநிலை எண் (Critical Coefficient) எனப்படும். இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டுக்கு முழுதும் உட்பட்டொழுகும் வாயுவுக்கு மாறுநிலை எண்ணின் மதிப்பு ஒன்று ஆகும்.

வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டைச் சரியெனக் கொள்வோமாயினும்,

$$\frac{RT_C}{P_C V_C} = R \cdot \frac{8a}{27Rb} \cdot \frac{27b^2}{a} \cdot \frac{1}{3b}$$
$$= 8/3$$

இதிலிருந்து மாறுநிலை எண் ஒரு மாறிலி எனத் தெரிகின்றது. ஆனால் உண்மையில் வெவ்வேறு வாயுக்களுக்கு, மாறுநிலை எண் வேறுபட்ட மதிப்பினை உடையது.

ஒப்புமை நிலைகளுக்கானச் சமன்பாட்டைப் பெறுதல் (Equation of state for Corresponding States): பல்வேறு வாயுக்கள், ஒரே வெப்பநிலையினையும், அழுத்தத்தினையும் பெற்று இருப்பினும், அவைகள் வெவ்வேறு விதமாகப் பெருக்கமடைகின்றன. எடுத்துக் காட்டாகக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் மாரு வெப்பநிலைக் கோடுகளும், காற்றின் மாரு வெப்பநிலைக்கோடுகளும் வெவ்வேருன இயல்பின. ஆனால் அவற்றின் மாறுநிலை மாறிலிகளிலிருந்து, சமமான, ஆனால் வெகு தொலைவில் இருக்கும்பொழுது அவற்றின் மாரு வெப்பநிலைக்கோடுகள் ஒன்றேபோல் இருக்கும்.

ஒரு பொருளின் அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை அப் பொருளின் மாறுநிலைமாறிலிகள் மூலமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்.

$$\therefore T_2 = 300 \times 2^{0 \cdot 4}$$

$$= 395 \cdot 9^\circ A$$

இறுதி வெப்பநிலை $T_2 = (395 \cdot 5^\circ - 273)C$

$$= 122 \cdot 9^\circ C$$

வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான மற்ருெரு சமன்பாடு,

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\gamma}$$

$$= \left[\frac{v_1}{v_1/2} \right]^{1 \cdot 4} = 2^{1 \cdot 4}$$

$$\therefore P_2 = 76 \times 2^{1 \cdot 4}$$

$= 200 \cdot 5$ செ. மீ.

(2) படித்தர வெப்பநிலை அழுத்தத்தில் நைட்ரஜனின் அடர்த்தி 1·234 கிராம் / லிட்டர். நைட்ரஜனின் அழுத்தம் மாரு வெப்ப எண்ணை 0·235 எனக் கொண்டு, அவ் வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவைக் கணக்கிடுக.

1·234 கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் பருமன் = 1000 க. செமீ.

$\therefore$ 1 கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் பருமன் $= \frac{1000}{1 \cdot 234}$ க. செமீ.

$P = 76 \times 13 \cdot 6 \times 981$ டைன்கள் / ச. செ. மீ.

$T = 273^\circ C$

$PV = RT$ (வாயுச்சமன்பாடு)

$$R = \frac{PV}{T}$$

$$= \frac{76 \times 13 \cdot 6 \times 981}{273} \times \frac{1000}{1 \cdot 234}$$

$= 3 \cdot 009 \times 10^6$ எர்க்/டிகிரி/கிராம்.

மேயரின் சமன்பாட்டின்படி,

$$C_P - Cv = \frac{R}{J}$$

$$\therefore Cv = C_P - \frac{R}{J}$$

$$= 0{\cdot}235 - \frac{3{\cdot}009 \times 10^6}{4{\cdot}2 \times 10^7}$$

$$= 0{\cdot}235 - 0{\cdot}072$$

$$= 0{\cdot}163.$$

வெப்ப எண்களின் தகவு $\gamma = \frac{C_P}{Cv} = \frac{0{\cdot}235}{0{\cdot}163}$

$$= 1.442$$

11. வெப்ப இயக்கவியல்

(i) வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதி

(First Law of Thermodynamics)

வெப்பத்தைப் பற்றிய கேலரிக் கொள்கை: மிகப் பழங்காலத்திலிருந்து 18 ஆம் நூற்றுண்டின் இறுதிவரை வெப்பத்தின் தன்மையைப் பற்றி இருவேறு கொள்கைகள் நிலவி வந்தன. ஆனுல் எந்தக் கொள்கையுமே உறுதியான அடிப்படையின் மேல் நிறுவப்படவில்லை. முதற் கொள்கையின்படி வெப்பம் என்பது கண்ணுக்குப் புலப்படாத, நெகிழ் திறம் கொண்ட இலேசான ஒரு பாய்பொருள் ஆகும். அந்தப் பொருளைக் கேலரிக் என்று அழைத்தனர். பொருளின் மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளிகள் கேலரிக் தங்கி இருப்பதாகவும் நம்பப்பட்டது. இரண்டாவது கொள்கையின்படி பொருளின்கண் உள்ள மூலக்கூறுகளின் விரைவான அசைவுகளால் வெப்பம் உருவாகிறது என்பதாம்.

கேலரிக் கொள்கையின் ஆதரவாளர்கள் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருந்த காரணத்தால், 19 ஆம் நூற்றுண்டின் துவக்கம் வரை கேலரிக் கொள்கையே நடைமுறையில் இருந்து வந்தது. வெப்பம் என்றழைக்கப்படும் பாய்பொருளை அழிக்கவோ, ஆக்கவோ இயலாது என்பதுதான் இக் கொள்கையின் அடிப்படையாகும். எனவே கேலரிக் ஒரு பொருளுடன் சேர்க்கப்படும் பொழுது அப் பொருளின் வெப்பநிலை உயர்கிறது என்றும் ஒரு பொருளில் இருந்து கேலரிக் நீக்கப்படும்பொழுது வெப்பநிலை குறைகிறது என்றும் கருதப்பட்டது.

கேலரிக் சுயவிலக்குத்தன்மையை மிகுதியாக உடைய ஒரு பாய்பொருள் எனவும் கொள்ளப்பட்டது. இத் தன்மையின்

அடிப்படையிலேயே ஓர் பொருள் வெப்பத்தால் விரிவடைகிறது என்றும் அது உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது, வெப்பத்தைக் கதிர்வீச்சு மூலம் கொடுக்கிறது என்றும் விளக்கிக் கூறப்பட்டது.

இக் கொள்கையினுல் வெப்பம் ஒரு உலோகப் பாய்பொருள் (Meterial Fluid) என்று முதலில் எண்ணப்பட்டது. ஆனுல் ஒரு பொருள் உயர்வெப்பநிலையிலும், சாதாரண வெப்பநிலையிலும் ஒரே நிறையுள்ளது. என்று கணக்கிடப்பட்ட காரணத்தால் கேலரிக் நிறையில்லாத பாய்பொருள் (Imponderable Fluid) எனக் கொள்ளப்பட்டது.

உயர் அழுத்த நிலையிலிருந்து குறைந்த அழுத்த நிலைக்கு நீர் பாய்ந்து செல்வதுபோல, கேலரிக், ஓர் உயர்ந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பொருளிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளுக்குச் செல்லும்.

வெப்பத்தைப் பற்றிய இயக்கவியற் கொள்கை: இரு பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று உராயும்பொழுது வெப்பம் உருவாகிறது. இரு பொருள்கள் உராயுங்கால், துகள்கள் உருவாகின்றன என்றும் துகள்களின் வெப்ப எண், கட்டியாக உள்ள பொருள்களின் வெப்ப எண்ணைவிட குறைவு எனவும், அதனுல் உராயும்பொழுது வெப்பம் உண்டாகின்றது என்றும் கேலரிக் கொள்கை இயம்பியது. அதுபோலவே, ஒரு பொருள் கடையப்படும்பொழுது வெப்ப ஆற்றல் அப் பொருளினின்றும் பிழிந்தெடுக்கப்படுகிறது. அவ் வெப்பமே வெப்பநிலைமானிக்குப் பாய்ந்து சென்று வெப்பநிலை உயர்வைக் காட்டுகிறது என்றும் நம்பினர். ஆனுல் 1798 ஆம் ஆண்டில் ரம்ஃபோர்டு (Rumford) என்பார், துப்பாக்கிக் குழாய்களில் துவாரம் செய்யும்பொழுது உருவாகும் வெப்பத்திற்கு வரம்பில்லாதிருப்பதைக் கண்டறிந்தார். மேலும் கேலரிக் கொள்கையின்படி, ஒவ்வொரு பொருளிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுதான் வெப்பம் உள்ளதென்றும் அது பயன்படுத்தப்பட்டுவிட்டால் மீண்டும் வெப்பத்தை உருவாக்க முடியாது என்றும் கூறப்பட்டது. ஆனுல் உராய்வின்போது வேலை செய்யும்வரை வெப்பம் அளவின்றி உருவாவது எடுத்துக்காட்டப்பட்டது.

மேலும் $0°C$ வெப்பநிலைக்குச் சற்று குறைவாக உள்ள இரு பனிக்கட்டித் துண்டுகளை ஒன்றோடொன்று தேய்ப்பதன் மூலம் வெப்பம் உருவாவதையும், அவ் வெப்பம் பனிக்கட்டித் துண்டுகளை உருகவைப்பதையும் டேவி (Devy) கண்டார். பனிக்கட்டி, உருகுதலினுல் உருவாகும் நீரின் வெப்ப எண் பனிக்கட்டியின் வெப்ப

எண்ணைவிட அதிகமாக உள்ளது. எனவே கேலரிக் கொள்கையால் கொடுக்கப்படும் விளக்கம், டேவியின் பரிசோதனைக்கு நேர் முரணானது. இதன் பின்னரே கேலரிக் கொள்கையைப் புறக் கணித்து வெப்பம் என்பது துகள்களின் அசைவால் உருவாகும் ஆற்றல் எனக்கொள்ளப்பட்டது.

ரம்ஃபோர்டின் பரிசோதனைகளிலிருந்து, செய்யப்படும் வேலைக்கும், அதன் விளைவாக உருவாகும் வெப்ப ஆற்றலுக்கும் இடையே ஒரு தொடர்பு இருக்கவேண்டும் என்ற உண்மை தெளிவாக்கப்பட்டபோதிலும், அவ்வுண்மையைக் கண்டறிந்த பெருமை ஜூல் என்பாரையே சாரும். 1840 முதல் 1878 வரை செய்த இடையருத ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக இயக்க ஆற்றலைப் போல வெப்பமும் ஒருவகை ஆற்றலே என்பதை அவர் நிறுவினர். மேலும் மறைந்துபோன இயக்க ஆற்றலுக்கும், தோன்றுகின்ற வெப்ப ஆற்றலுக்கும் இடையே உள்ள நிலையான தொடர்பையும் அவரே கண்டறிந்தார். இதையே வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று என்று கூறுகிறோம். இதை J என்ற எழுத்தால் குறிக்கின்றோம். W அலகு வேலை செய்யப்படுவதன் மூலம் H அலகு வெப்ப ஆற்றல் உருவானுல்.

$$\frac{W}{H} = J.$$

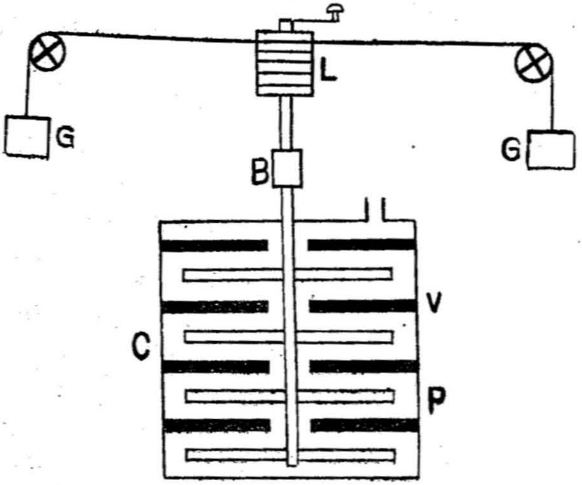
இங்கு J என்பது மாறிலி. இச் சமன்பாடே வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதி என்று கூறப்படும். பரிசோதனைகள் மூலம் Jயின் மதிப்பைக் கண்டறியலாம். இதன் மதிப்பு, செயலின் அலகு, வெப்பத்தின் அலகு ஆகிய இரண்டையும் சார்ந்தது. அதாவது,

$$J = 4{\cdot}182 \times 10^7 \text{ எர்க்/கலோரி.}$$
$$= 4{\cdot}182 \text{ ஜூல்/கலோரி.}$$

வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணை மாற்றை நிர்ணயித்தல். (i) ஜூல் பரிசோதனை: (Joule's Experiment) பித்தளைத் துடுப்புகளை உடைய ஓர் அச்சுத்தண்டு சுழல்வதன் மூலமாகத் தோன்றும் இயக்க ஆற்றலையும், கேலரி மீட்டரில் உள்ள நீர் கடையப்படுவதன் விளைவாக உருவாகும் வெப்ப ஆற்றலையும் கணக்கிடுவதனுல், வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றைக் காண்பதே இப் பரிசோதனையின் அடிப்படையாகும்.

இவருடைய உபகரணம், சம இடைவெளிகளில் பொருத்தப் பட்டுள்ள எட்டுப் பித்தளைத் துடுப்புகளைக்கொண்ட ஓர் அச்சுத் தண்டை (P) உடையது. இத் தண்டு L என்ற உருளையின்

உதவியால் சுழற்றப்படுகிறது. அச்சுத் தண்டின் துடுப்புகள் நீருள்ள ஒரு கேலரி மீட்டரினுள் (C) வைக்கப்பட்டுள்ளன. இத் துடுப்புகளின் இடைவெளிகளில் வந்தமையுமாறு கேலரி மீட்டரின் உட்புறம் நிலையான தகடுகள் (Vanes) V பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அச்சுத் தண்டிலிருந்து வெப்பம் L என்ற உருளைவை அடையா வண்ணம் தடுக்க B என்ற மர உருளை அமைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 123. வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று—ஜூல் முறை

கேலரி மீட்டர் ஓர் எபொனைட் மூடியால் மூடப்படுகிறது. L என்ற உருளையைச் சுற்றி ஒரு கயிறு சுற்றப்பட்டுள்ளது. அது இரு கப்பிகளின் வழிவாகச் செலுத்தப்பட்டு அதன் முனைகள் GG என்ற இரு சமநிறைகளுடன் இணைக்கப்படுகின்றன.

கேலரி மீட்டரில் உள்ள நீரின் தொடக்க வெப்பநிலை θ_1 குறிக்கப் பட்டபின் GG என்ற நிறைகள் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரம் கீழே இறங்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. நிறைகள் தரையை அடைந்தவுடன் அச்சுத் தண்டும் L என்ற உருளையும் தொடர்பற்று விடுகின்றன. கயிற்றினை மறுபடியும் உருளையின் மேல் சுற்றுவதன் வாயிலாக, அச்சுத் தண்டும் உருளையும் மீண்டும் இணைக்கப்படுகின்றன. மறுபடியும் எடைகள் கீழே இறங்குமாறு செய்ய வேண்டும். இவ்வாறு நிறைகள் பன்முறை இறங்கியபின்னர், நீர் அடையும் இறுதி வெப்பநிலையை θ_2 அளவிடவேண்டும்.

கேலரி மீட்டரும், அதனுள் வைக்கப்பட்டுள்ள துடுப்புகளும் சேர்ந்து நிறை, கேலரி மீட்டரிலுள்ள நீரின் நிறை, கயிற்றின் நீ

முனைகளிலும் பிணைக்கப்பட்டுள்ள சமநிறைகள் G,Gயின் மதிப்பு ஆகியவற்றை முறையே W கிராம், M கிராம், M கிராம் என்போம். G, G எனப்படுகின்ற நிறைகள் n முறைகள், h செ.மீ. உயரம் இறங்குமாறு செய்யப்படுவதாகக் கொள்வோம். கேலரிமீட்டர் செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண் S என்க.

எனவே,

புரியப்பட்ட செயல் $= W = 2\,n\,m\,g\,h$ எர்க்.

உண்டாக்கப்பட்ட வெப்ப அளவு $H = (Ws+M)\,(\theta_2-\theta_1)$

எனவே வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று Jயின் மதிப்பு

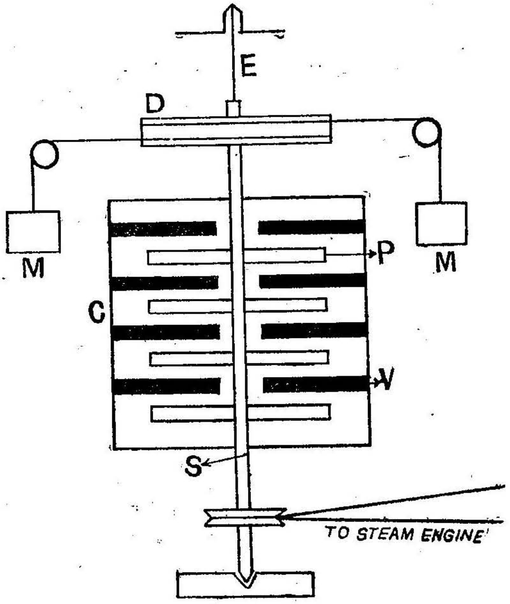
$$J = \frac{W}{H} = \frac{2\,n\,m\,g\,h}{(Ws+m)\,(\theta_1 - \theta_1)} \text{ எர்க்/கலோரி}$$

ஜூலின் பரிசோதனையில் Jயின் மதிப்பு $4{\cdot}16 \times 10^7$ எர்க்/கலோரி எனக் கணக்கிட்டறியப்பட்டது. ஆனால் இப் பரிசோதனையில், நீரின் வெப்பநிலை மிகச் சிறிய அளவு உயர்வடைய மிகுதியான நேரம் தேவைப்படுகின்றது; மேலும் கதிர்வீச்சு முறையில் இழக்கப்பட்ட வெப்பத்திற்கான திருத்தத்தைக் கணக்கிடவில்லை. மேலும் இந்த முறையில் சிரமம் அதிகம்.

(ii) ரௌலண்டின் சோதனை (Rowland's Experiment): 1879ஆம் ஆண்டு ரௌலண்டு என்பார், ஜூலின் பரிசோதனையையே சில மாற்றங்களுடன் திரும்பவும் செய்தார். இவருடைய கருவியில் நிலைத்தகடுகள் பொருத்தப்பட்ட கலோரிமானி (C) யின் மேல் வட்டுடன் (D) கூடிய தண்டு பொருத்தப்பட்டு E என்ற முறுக்குக் கம்பியால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இந்நிலைத் தகடுகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளிகளில் சுழலக்கூடிய வண்ணம் துடுப்புகளைக் (P)கொண்ட ஓர் எஃகு அச்சுத்தண்டு (S) கேலரிமீட்டரின் அடிவழியாகச் செல்லுகின்றது. இவ்வச்சினை ஒரு சிறு நீராவி எஞ்சினின் உதவியால் சுழற்ற இயலும். வட்டைச் சுற்றிச் செல்லுகின்ற ஒரு கயிறு இரு கப்பிகளின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு அதன் முனைகளில் இரு சமநிறைகள் M, M பிணைக்கப்பட்டுள்ளன.

கலோரிமானியில் குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள நீர் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. அதன் ஆரம்ப வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொண்ட பின்னர், எஞ்சினின் உதவியால் துடுப்புகளைச் சுழல வைக்கவேண்டும். துடுப்புகள் சுழல்வதால், நீருக்கும் கலோரிமானிக்கும் இடையே உருவாகும் உராய்வின் விளைவாக, கலோரிமானி சுழலத் துவங்கும். சமநிறைகள் M, M ஆகியவற்றைத்

தேவையான அளவு சரிசெய்து கலோரிமானி சுழலாமல், நிலையாக இருக்கும்வண்ணம் செய்யப்படுதல் வேண்டும். அதாவது உராய்வினால் உருவாகும் இரட்டையின் சுழற்று விளைவு சரியீடு செய்யப்படுகிறது எனவே ஈடுசெய்யும் இரட்டைக்கெதிராக துடுப்புகள் பணியாற்றுகின்றன. இப் பணியால்தான் நீர் கடையப்



படம் 124. வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று—ரௌலண்ட் முறை

பெறுகிறது. அதாவது பணி வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது. எனவே நீரின் வெப்பநிலை உயர்வடைகிறது. நீரின் இறுதி வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும்.

வட்டின் விட்டம் d செ.மீ. என்க; கயிற்றின் முனையில் பிணைக்கப் பட்டுள்ள சமநிறைகளில் ஒன்றின் மதிப்பு M கிராம் எனக் கொள்வோம். இந் நிறைகளால் உருவாகும் இரட்டை $= Mgd$. துடுப்புகள் n முறைகள் சுழலுமேயாயின் இவ் விரட்டைக்கு எதிராகச் செய்யப்பட்ட செயல் $= 2\pi n \times Mgd$ எர்க்.

கலோரிமானி, நிலைத்தகடுகள், துடுப்புகள் ஆகியவற்றின் வெப்பச் சமநீர் W எனவும், கலோரிமானியிலுள்ள நீரின் நிறையை m கிராம் எனவும்கொள்வோம். நீரின் வெப்பநிலை உயர்வு $\theta°C$ எனில்,

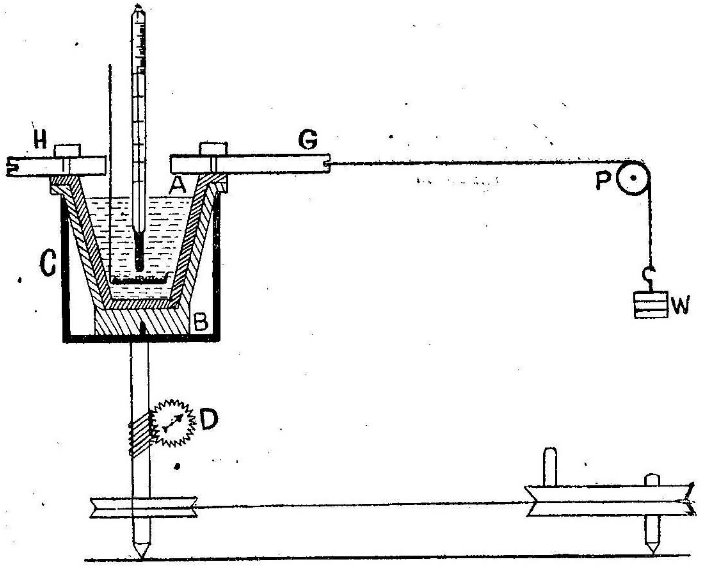
உண்டாக்கப்பட்ட வெப்பம் $= (m+w)\ \theta$.

எனவே வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று J என்பது

$$J = \frac{\text{செய்யப்பட்ட வேலை}}{\text{உருவான வெப்பம்}} = \frac{2\pi n \times Mgd}{(m+w)\,\theta}$$

குளிர்வுக்கான திருத்தம், நிறைகள் காற்றில் இருப்பதால் மிதவைத் திறனால் ஏற்படும் எடையிழப்புக்குத் தகுந்த திருத்தம், கம்பியில் முறுக்கம் இருக்குமேயானால் அதற்கான சுழற்று விளைவைக் கணக்கிட்டு உரிய திருத்தம் ஆகியவற்றைக் கண்டறிந்ததோடன்றி, சோதனையில் பயன்படுத்திய வெப்பமானியின் அளவீடுகளை, வாயு வெப்பநிலைமானி அளவீடுகளுடன் ஒப்பிட்டுச் சரிசெய்தார். இப் பரிசோதனையில் J யின் மதிப்பு $4{\cdot}1878 \times 10^7$ எர்க்/கலோரி எனக் கணக்கிடப்பட்டது.

(iii) செர்ள் உராய்வுக் கூம்பு முறை (Searls friction cone method): இக் கருவியில் ஒரு பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணம் A, மற்றொரு கூம்புக் கிண்ணத்தினுள் B சற்று இறுக்கமாகப் பொருந்தி இருக்கும்வண்ணம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விரு கிண்ணங்



படம் 125, வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று—செர்ள் உராய்வுக் கூம்பு முறை

களும், ஓர் எபொனைட் சிலிண்டர் உறையினுள் C, உறையின் கீழே பொருத்தப்பட்டுள்ள ஊசிகளால் நிலையாகப் பிணைக்கப்

உச்சியில் நிறுத்தப்பட்டு இருக்கிறது. தண்டுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ள கப்பியைச் சுற்றி ஒரு பட்டை வார் (Belt) செல்கிறது. இதன் உதவியால் உறையையும், உறையினுள் உள்ள B என்ற கிண்ணத்தையும் சுழற்ற முடியும். சுற்றுகளின் எண்ணிக் கையைக் கணக்கிட ஓர் எண்ணி (Counter) பற்சக்கரங்களால் தண்டுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. உட்கிண்ணத்தின் விளிம்பில் இரு ஊசிகளைப் பொருத்தி, அவற்றுடன் ஒரு வட்டமான மர வெட்டு (Woodern disc) G பொருத்தப்படுகிறது. கிண்ணங் களிடையே போதிய அழுத்தத்தை உண்டாக்க, ஒரு பெரிய நிறை, வட்டின் மேல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. வட்டின் விளிம்பில், ஒருமுறை சுற்றப்பட்டுள்ள கயிறு, ஒரு கப்பியின்மேல் எடுத்துச் செல்லப்பட்டு, ஒரு நிறையுடன் இணைக்கப்படுகிறது.

பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணங்கள் இரண்டின் நிறைகளும் முதலில் கணக்கிடப்பட வேண்டும். உட்கிண்ணத்தில் பாதியளவு நீரினை ஊற்றிக் கொண்டபின், மறுபடியும் கிண்ணங்களின் நிறையைக் காண்பதன் மூலம் எடுத்துக்கொண்ட நீரின் நிலையை அளவிடலாம். நீரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை குறித்துக் கொள்ளப் படுதல் வேண்டும். பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணங்களை, எபொனைட் உறையில் பொருத்தி வைத்தபின். வட்டினை உட்கிண்ணத்தின் விளிம்பின்மேல் வைத்துவிட வேண்டும். கைச்சக்கரத்தைச் சுற்று வதன் மூலம் வெளிக் கிண்ணம் சுழல வைக்கப்படுகிறது. கயிற்றின் முனையில் இணைக்கப்பட்டுள்ள நிறையைப் போதுமான அளவு இருக்குமாறு சரி செய்து, உட்கிண்ணம் அசையாமல் இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. இரு கிண்ணங்களுக்கும் இடையே ஏற்படும் உராய்வால் பிறக்கும் வெப்ப ஆற்றல் நீரின் வெப்ப நிலையை உயர்த்துகிறது.

வெளிக் கிண்ணத்தைக் குறிப்பிட்ட முறைகள் சுழற்றிய பின்னர் நீர் அடைந்த இறுதி வெப்பநிலையை, கதிர் வீச்சுக்கான திருத் தத்துடன் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பெறுகிறது. இரு பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணங்களும் சேர்ந்து நிறை M கிராம் எனவும், உட் கிண்ணத்திலுள்ள நீரின் நிறை m கிராம் எனவும், கயிற்றின் முனையில், இணைக்கப்பட்டுள்ள நிறை W கிராம் எனவும் கொள் வோம். நீரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $\theta_1{}^\circ C$ எனவும், வெளிக் கிண்ணத்தை n முறைகள் சுழற்றிய பின்னர் நீரின் இறுதி வெப்ப நிலை $\theta_2{}^\circ C$ எனவும் கொள்வோம். வட்டின் விட்டம் d செ.மீ. என்க.

உராய்வினால் செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கீடு செய்ய, வெளிக் கிண்ணம் நிலையாக உள்ளது என்றும், உட்கிண்ணம் n முறைகள் எதிர்த்திசையில் இயங்குவதாகவும் கொள்வோம்.

நிறை W நகருகின்ற தூரம் $= \pi . d . n.$

∴ நிறை W ஆல் செய்யப்பட்ட செயல் $= Wg \pi nd$ எர்க்.

உட்கிண்ணம் நிலையானதாகவும், வெளிக் கிண்ணம் சுழல்வதாகவும் கொள்வோமேயானாலும் இதே அளவு செயல் செய்யப்பட்டிருக்கும். எனவே,

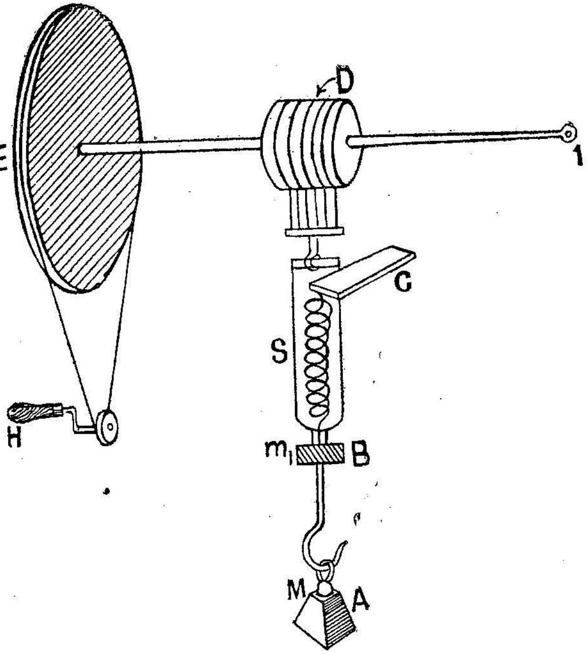
உராய்வினால் செய்யப்பட்ட செயல் $= Wg \pi nd$ எர்க்.

உண்டாக்கப்பட்ட வெப்ப அளவு $= (Ms+m)(\theta_2 - \theta_1)$

எனவே வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று J என்பது

$$J = \frac{Wg \pi nd}{(Ms+m)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ எர்க்/கலோரி.}$$

iv. காலண்டர் உராய்வு எந்திரம் (Callendar's friction machine): ஓர் உள்ளீடற்ற பித்தளை உருளை D_1 ஒரு கிடைத்தளத் தண்டினால்,



படம் 126. வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று—காலண்டர் முறை

கைச்சக்கரத்தினாலோ அல்லது சிறு எஞ்சினாலோ சுழற்றப்படக்கூடிய ஒரு பெரிய மரவட்டுடன் E இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

இரு பித்தளைக் குறுக்குத் தண்டுகளால் முனைகள் இணைக்கப் பெற்ற, இரு பட்டுப்பட்டைகள் உருளையைச்சுற்றி ஒருமுறை சுற்றப்பட்டுள்ளன. இவ்விரு பட்டைகளுக்கும் இடையே சம தூரத்தில் இருக்குமாறு, அவ்விரு பட்டைகளும் சுற்றப்பட்டுள்ள திசைக்கு எதிர்த் திசையில் சுற்றப்பட்டும், ஒரு குறுக்குத் தண்டின் மத்தியில் இணைக்கப்பட்டுமுள்ள மூன்றுவது பட்டுப்பட்டையின் ஒரு முனையில் பெரிய நிறையும் M_1 மறுமுனையில் சிறு நிறையும் m_1 சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. m_1-ன் ஒரு பகுதி ஒரு வில் தரா சுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ் வில் தராசு ஒரு தனித் தாங்கி யிலிருந்து (c) தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள நீர் பித்தளை உருளையினுள் ஊற்றப்பட்டுள்ளது. வளைவான வெப்பமானி T இன் உதவியால் அதன் வெப்பநிலை அளவிடப் படுகிறது.

மரவெட்டு E, தொடர்ந்து சுற்றப்படுகிறது. உருளையின் மேற்பரப்புக்கும், பட்டைகளுக்கும், இடையே ஏற்படும் உராய் வுக்கு எதிராக உருளை சுற்றப்படுவதால் பணி ஆற்றப்படுகிறது. பட்டுப்பட்டைகளின் இழுவிசையை வில்தராசு தானுகவே கட்டுப் படுத்துகிறது. சிறிய எடை m_1-ன் கீழ்நோக்கிய இழுவிசை அதிகமாக இருந்தால் எடையை வில்தராசு பகிர்ந்து கொண்டு, நடுப்பட்டையின் இழுவிசையைக் குறைக்கிறது. பெரிய எடை M-ன் கீழ்நோக்கிய இழுவிசை அதிகமெனில், m_1 மேல்நோக்கி நகரத் துவங்கும். வில்தராசின் விளைவு (Effect) மிகவும் குறைக் கப்படுவதால், நடுப்பட்டையின் இழுவிசை அதிகமாகிறது. வில் தராசின் அளவீடு m_2 எனில்,

$$\text{செய்யப்பட்ட வேலை} = Mg - (m_1 - m_2)g$$
$$= (M - m_1 + m_2)\, g.$$

உருளையின் விட்டம் d செ. மீ. எனவும், அது n முறை சுழல்வ தாகவும் கொண்டால், n சுற்றுகளுக்குச் செய்யப்பட்ட வேலை W எனில்,

$$W = (M - m_1 + m_2)\, g \times \pi n d \text{ எர்க்.}$$

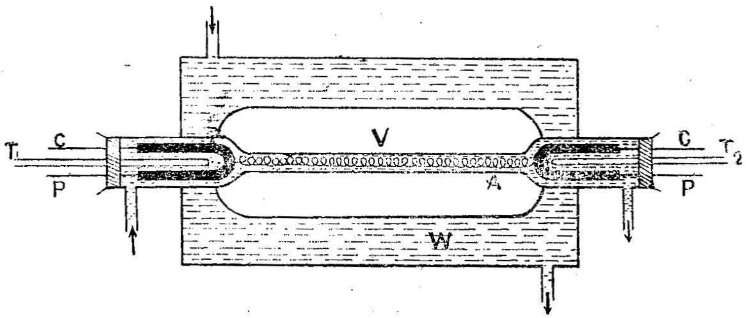
உருளையின் நிறையை X கிராம் எனவும், அதன் வெப்ப எண்ணை S எனவும் கொள்வோம். உருளையினுள் உள்ள நீரின் நிறை W கிராம் என்க; நீரின் ஆரம்ப வெப்பநிலையும், இறுதி வெப்ப நிலையும் முறையே θ_1, θ_2 எனக் கொள்வோமாயின்,

$$\text{உண்டாக்கப்பட்ட வெப்பம்} = (XS + W)(\theta_2 - \theta_1) \text{ கலோரிகள்}$$

எனவே வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று J என்பது,

$$\mathcal{J} = \frac{(M - m_1 + m_2) \cdot g \times \pi n d}{(Xs + W)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ எர்க்/கலோரி.}$$

(V) **காலண்டர் - பார்ன்ஸ் தொடர்பாய் முறை** (Callendar - Barnes continuous flow method) : இம்முறையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில், ஒரே சீரான வேகத்தில் ஒரு சிறு துளைக் கண்ணாடிக் குழாயின் A வழியே செல்லுகின்ற நீர், அக் குழாயினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள நீண்ட மெல்லிய பிளாட்டினக் கம்பியின் வழியாக மின்சாரத்தைச் செலுத்துவதால் வெப்பப்படுத்தப் படுகிறது. CC என்ற இணைப்புகளின் உதவியால் பிளாட்டினக் கம்பியின் வழியே மின்சாரம் செலுத்தப்படுகிறது.



படம் 127. வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று—காலண்டர்-பார்ன்ஸ் முறை

குழாயினுள் உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையையும், அதிலிருந்து வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும், பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியினால் துல்லியமாக அளவிடப்பெறுதல் இயலும். குழாயிலிருந்து ஏற்படக்கூடிய வெப்ப இழப்பைக் குறைக்க இக் குழாய் ஒரு வெற்றிட உறையினுள் V வைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும் இவ்வுறையைச் சுற்றி, ஒரே வெப்பநிலையிலுள்ள குளிர் நீர் உறை W உள்ளது. ஒரே சீரான வேகத்தில் குழாயின் வழியே நீர் செலுத்தப்படுகிறது. குழாயினுள் ஒரு வினாடியில் செல்லும் நீரின் நிறை m_1 கிராம் கணக்கிடப்படுகிறது. படித்தர கிளார்க் மின் கலத்தினால் ஒப்பிடப்பட்ட மின்னழுத்தமானியைக் கொண்டு, பிளாட்டினக் கம்பியின் இரு முனைகளுக்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினையும் E_1, கம்பியின் வழியே செல்லுகின்ற மின்சாரத்தின் வலிமையையும் (C_1) அளக்கவேண்டும்.

குழாயின் உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையையும், வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் θ_1, θ_2 என்க. நீரின் வெப்ப எண்

ஒன்றெனக் கொண்டால், ஒரு வினாடியில் நீரினால் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட வெப்பம் $= m_1 (\theta_2 - \theta_1)$

கம்பியின் வழியே மின்சாரம் ஒரு வினாடி செல்வதாகக் கொண்டால் செய்யப்பட்ட வேலை $\Big\} = E_1 C_1$ ஜூல்

எனவே உண்டாக்கப்பட்ட வெப்பம் $= E_1 C_1/J$ கலோரி. கதிர்வீச்சினால் ஏற்படும் வெப்ப இழப்பின் மதிப்பை K எனக் கொண்டால்,

$$\frac{E_1 C_1}{J} m_1 (\theta_2 - \theta_1) + K \qquad \ldots(1)$$

குழாயினுள், ஒரு வினாடியில் செலுத்தப்படும் நீரின் நிறை m_2 கிராம் இருக்குமாறு, நீரின் வேகத்தை மாற்றி அமைத்தல் வேண்டும். ஆனால் நீரின் வெப்பநிலை உயர்வு $(\theta_2 - \theta_1)$ அளவு மாறாது இருக்குமாறு, கம்பியின் வழியே செல்லும் மின்சாரத்தின் வலிமையைக் கட்டுப்படுத்த வேண்டும். கம்பியின் இரு முனைகளுக்கும், இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினையும், கம்பியின் வழியே செல்லுகின்ற மின்சாரத்தின் வலிமையையும் முறையே E_2, C_2 எனக் கொள்வோமாயின்

$$\frac{E_2 C_2}{J} = m_2 (\theta_2 - \theta_1) + K \qquad \ldots \quad (2).$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளில் இருந்து,

$$\frac{E_2 C_2 - E_1 C_1}{J} = (m_2 - m_1)(\theta_2 - \theta_1)$$

$$\therefore J = \frac{E_2 C^2 - E_1 C_1}{(m_2 - m_1)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ ஜூல்/கலோரி.}$$

இம் முறையில் வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றின் மதிப்பு 4·19 ஜூல்/கலோரி எனக் கணக்கிட்டறியப்பட்டது.

இம் முறையின் நற்பண்புகள்: 1. கதிர்வீச்சினால் ஏற்படும் சிறு வெப்ப இழப்பும், ஒரே அளவு வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கு இரு அளவீடுகள் எடுப்பதன் மூலம் நீக்கப்படுகிறது.

2. வெப்பநிலைகளை 0·001 டிகிரி திருத்தமாகப் பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியினால் அளக்க இயலும்.

3. கருவியின் வெப்ப ஏற்புத்திறனைத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டுவதில்லை.

மேலே விளக்கப்பட்ட பல்வேறு பரிசோதனைகளின் வாயிலாகக் கிடைக்கும் முடிவுகளின் திரண்ட கருத்தே வெப்ப இயக்கவியலின் முதலாம் விதி என்றழைக்கப்படுகிறது. கணக்கீட்டு முறையில் இவ்விதியை நிரூபிக்க இயலாதெனினும், இவ் விதிக்கு முரணாக நடத்தல் இயலாததொன்று. இவ் விதிக்குப் புறம்பான எந்தவொரு பௌதிக நிகழ்வும் தவறேயாகும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. காலண்டர்-பார்ன்ஸ் தொடர்பாய் முறையில், 1·4 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் 2·6 ஆம்பியர் மின்சாரம் விநாடிக்கு 3·4 கிராம் வீதம் செல்லும் திரவத்தின் வெப்பநிலையை $2°C$ அளவு உயர்த்துகிறது. திரவத்தின் வேகம் விநாடிக்கு 2·6 கிரமாகக் குறையும்பொழுது, அதே $2°C$ அளவு வெப்ப நிலையை உயர்த்த 0·9 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் 2·1 ஆம்பியர் மின்சாரம் தேவைப்படுகிறது. திரவத்தின் வெப்ப எண்ணை 0·26 எனக் கொண்டு வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றைக் கணக்கிடுக.

$$J = \frac{E_2 C_2 \sim E_1 C_1}{(m_2 \sim m_1) S (\theta_2 - \theta_1)}$$

$$J = \frac{0·9 \times 2·1 \sim 1·4 \times 2·6}{(2·6 \sim 3·4) \times ·26 \times 2}$$

$$= \frac{1·89 \sim 3·64}{(2·6 \sim 3·4) \times ·26 \times 2}$$

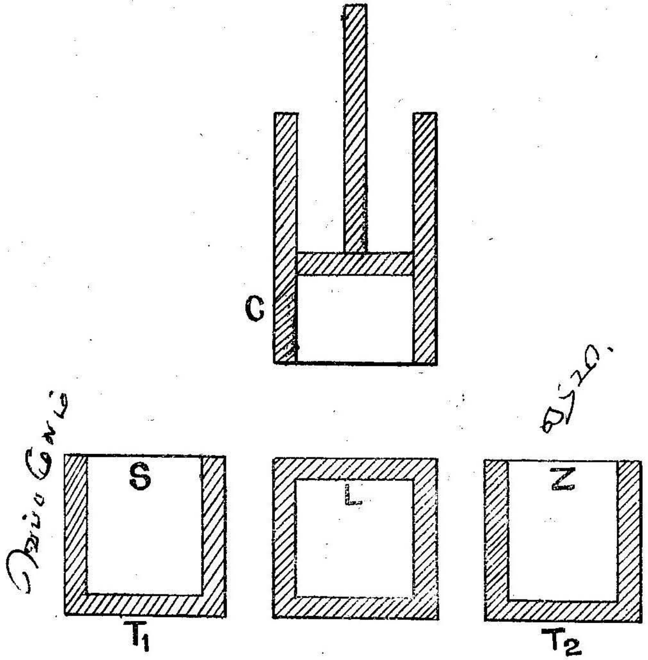
$$= \frac{1·75}{0·8 \times 0·26 \times 2} = 4·207 \text{ ஜூல்/கலோரி}$$

(ii) வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி

(Second law of Thermodynamics)

வெப்ப எஞ்சின்கள் (Heat Engines): வெப்ப ஆற்றலுக்கும், இயக்க ஆற்றலுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பினை வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதியின்படி முடிவாக்கிய பின்னர்,

ஒருவகை ஆற்றலை மற்றொரு வகை ஆற்றலாகப் படிப்படியாக மாற்றுதலில் அமைந்துள்ள கொள்கைப்பாடுகளைப்பற்றி அறிதல் அவசியமாகும். வெப்ப ஆற்றலை இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப் பயன் படுத்தும் கருவிகளை வெப்ப எஞ்சின்கள் என்று அழைக்கிறோம். ஓர் இலட்சிய வெப்ப எஞ்சினுக்குக் கீழ்க்கண்ட அமைப்புகள் இன்றியமையாதன.



படம் 128.

1. வெப்பக்கடத்தா சுவர்களையும், வெப்பத்தை நன்கு கடத்தும் அடிப்பாகத்தையும் கொண்ட ஒரு சிலிண்டருள், வெப்பக் கடத்தாததும், உராய்வு இல்லாததுமான ஓர் உந்துதண்டு இயங்குகின்றது. உருளையின் அடிப்பாகத்துக்கும் உந்துதண்டுக்கும் இடையே ஓர் இலட்சிய வாயு (Ideal Gas) அடைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ் வாயுவை வெப்ப எஞ்சினின் தொழிற்படுபொருள் (Working-Substance) என்று அழைக்கிறோம்.

2. மிகுந்த வெப்ப ஏற்புத்திறனை உடைய மிக உயர்ந்த வெப்பநிலையில் உள்ள வெப்பமூலம் (Source).

3. மிகுந்த வெப்ப ஏற்புத்திறனை உடைய குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள வெப்ப ஏற்பி (Sink).

4. எஞ்சினின் அடிப்பாகத்தை மூடவல்ல வெப்பக்கடத்தா மேடை.

வெப்ப எஞ்சின் வெப்ப மூலத்துடன் சேர்ந்து செயல்படும் இயக்கத்தின்போது, தொழிற்படுபொருள் வெப்ப மூலத்திலிருந்து வெப்ப ஆற்றலைப் பெறுகிறது. வெப்ப ஏற்பியுடன் இணைந்து செயல்படும் பொழுது அவ் வெப்ப ஆற்றலின் ஒரு பகுதியை வெப்ப ஏற்பி உட்கவர்ந்து கொள்கின்றது. மேலும் சுற்றினை முடிப்பதற்கு ஏதுவாக இரு வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகள் அடுத்தடுத்து நிகழ்கின்றன. சுற்றின் முடிவில் தொழிற்படுபொருள் தன் பழைய நிலையை, அதாவது, துவக்கத்தில் கொண்டிருந்த பருமன், அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை அடையும். இதுவே வெப்ப எஞ்சினின் அடிப்படைத் தத்துவமாகும். இத்தகையதொரு எஞ்சினைக் கார்னோ (Carnot) என்பவர் நிர்ணயித்தார். எனவே இதைக் கார்னோவின் இலட்சிய எஞ்சின் (Carnot's ideal Engine) என்றும் அழைப்பர்.

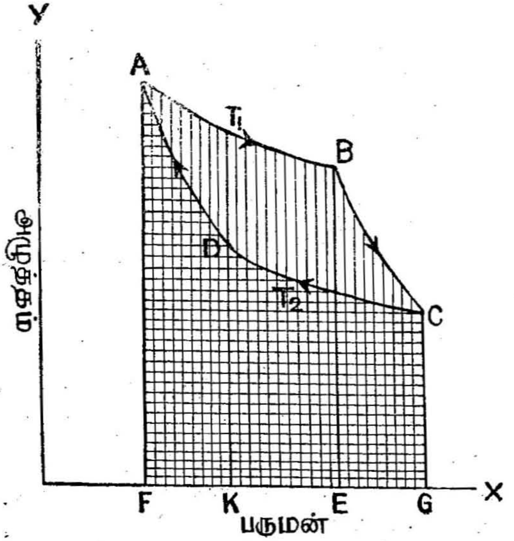
வெப்ப மூலத்திலிருந்து எடுத்துக்கொண்ட வெப்பத்தில் ஒரு பகுதியைத் தொழிற்படுபொருள் வெப்ப ஏற்பிக்குக் கொடுத்து விட்டு, எஞ்சிய பகுதியைப் பயன் படுத்தி விரிவடைகிறது. வேலை செய்யப் பயன்படுத்தப்பட்ட வெப்பத்திற்கும், வெப்ப மூலத்தில் இருந்து பெற்ற வெப்பத்திற்கும், இடையே உள்ள தகவு, வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறு திறன் (Efficiency) அல்லது இயக்குதிறம் என்று அழைக்கப்பெறும்.

கார்னோ-சுற்று (Carnot's Cycle) கார்னோ-எஞ்சின் செயல் படுவதற்குக் கீழ்க்கண்ட சுற்று வரிசையைக் கார்னோ ஏற்படுத் தினர். இதனால் கிடைக்கப்பெறும் பயனுறு வேலையை $P—V$ வரைப் படம் அல்லது சுட்டுப்படம் (Indicator Diagram) வாயிலாகக் கணக்கிடலாம். வெப்பமூலத்தின் வெப்பநிலையை $T_1°A$ என்க. 1. சிலிண்டர் வெப்பமூலத்தின் மேல் வைக்கப்படுகிறது. உந்து தண்டனை ஏற்றவாறு இயக்கி மாறா வெப்பநிலைப் பெருக்கம் வாயு பெறும் வண்ணம் வாயுவின் அழுத்தம் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. இம் மாறா வெப்பநிலைப் பெருக்கத்தை வரைப்படத்தில் AB என்ற மாறா வெப்பநிலைக்கோட்டால் குறிக்கின்றோம். இவ் வியக்கத்தின் போது, வாயு விரிவடைவதால், அது குளிர்வடைதல் வேண்டும். எனவே அதன் வெப்பநிலை $T_1°A$லிருந்து குறையத் துவங்கும். வெப்பநிலை $(T_1°A)$ மாறாமல் இருக்கச் செய்ய மூலத்திலிருந்து,

தொழிற்படுபொருள் Q_1 கலோரி வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொள்வதாகக் கருத்திற் கொள்வோம்.

முன்னரே கூறியபடி இப் பெருக்கத்தின்பொழுது வாயுவினுல் செய்யப்பட்ட வேலை $ABEF$ என்ற பரப்பினுல் குறிக்கப்படுகிறது.

2. வெப்ப எஞ்சின் வெப்ப கடத்தா மேடையின் மேல் வைக்கப்படுகிறது. வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில், வாயு மேலும்



படம் 129· கார்னோ சுட்டுப்படம்

விரிவடையச் செய்யப்படுகிறது. வெப்பநிலை $T_2°A$-க்கு வீழ்ச்சி அடையும் வரை வாயு விரிவடைவதாகக் கொள்வோம். வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்ச்சி (BC) ஏற்படுவதால் வாயு வெப்பத்தை இழப்பதோ, ஏற்பதோ இல்லை. ஆனுல் வெப்பநிலையில் மட்டும் வீழ்ச்சி உண்டாகின்றது. இந் நிகழ்வில், வாயுவினுல் செய்யப்படும் வேலை $BCGE$ என்ற பரப்பினுல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

3. எஞ்சின் $T_2°A$ வெப்பநிலையில், வெப்ப ஏற்பியின் மேல் வைக்கப்பட்டு, உந்துதண்டு மெல்ல கீழே நகர்த்தப்படுகிறது. இவ்வியக்கத்தினுல் வாயுவின் மேல் பணியாற்றப்படுகிறது. உருவாகும் வெப்பம், தொழிற்படும் பொருளில் இருந்து, ஏற்பிக்கு, பொருளின் வெப்பநிலை $T_2°A$ மாருவண்ணம் இருக்குமாறு செலுத்தப்படுவதாகவும், அவ் வெப்பத்தின் அளவை Q_2 கலோரி எனவும் கொள்வோம். $T_2°A$ வெப்பநிலையில் ஏற்படும் இந் நிகழ்வை

மாறு வெப்பநிலைக்கோடு CD குறிக்கின்றது. வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை எண் மதிப்பில் $CDKG$ என்ற பரப்புக்குச் சமமாகும். இவ்வியக்கத்தின் இறுதியில் தொழிற்படுபொருள் கொண்டுள்ள அழுத்தத்தையும், பருமனையும் D என்ற புள்ளி குறிக்கிறது.

4. இறுதியாக எஞ்சின் மீண்டும் வெப்பக்கடத்தா மேடை மேல் வைக்கப்படுகிறது. வாயு, தன் துவக்கப் பருமனையும் அழுத்தத்தையும் அடையும் வரை உந்துதண்டு கீழ்நோக்கி இயங்குகின்றது. இவ்வியக்கம் வெப்ப மாற்றீடற்ற இறுக்கமாதலால் வாயுவின் வெப்பநிலை உயர்தல் வேண்டும். இந் நிகழ்வு DA என்னும் வெப்ப மாற்றீடற்றக் கோட்டினுல் குறிக்கப்படுகிறது. இந் நிகழ்வினுல், வாயு தன் துவக்க வெப்பநிலையை எய்துவதாகக் கொள்வோம். இந் நிகழ்வில், வாயு வெப்பத்தை ஏற்பதோ இழப்பதோ இல்லை. ஆனுல் அதன் வெப்பநிலை மட்டும் உயர்வடைகிறது. வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை $DAFK$ என்ற பரப்பினுல் குறிக்கப்படும்.

இச் சுற்றில் வாயு, $T_1°A$ வெப்பநிலையில், வெப்ப மூலத்திலிருந்து Q_1 கலோரி வெப்பத்தை ஏற்கிறது. $T_2°A$ வெப்பநிலையில் Q_2 கலோரி வெப்பத்தை வெப்ப ஏற்பிக்கு அளித்து விடுகிறது. எஞ்சிய வெப்பம் (Q_1-Q_2) கலோரியே வாயுவினுல் பயன்படுத்தப்படுகிறது. படத்திலிருந்து, வாயு செய்கின்ற வேலை, வாயுவின் மீது செய்யப்பட்ட வேலையைவிட அதிகமாகும். அந்த அதிகமானது இவ்வியக்கங்களைக் குறிக்கும் வரைப்படத்தில் $ABCD$ என்ற பரப்பினுல் குறிக்கப்படுகிறது.

வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதிப்படி,

$$J = \frac{W}{H} = \frac{ABCD\text{யின் பரப்பு}}{Q_1-Q_2} \text{ எர்க்/கலோரி}$$

எஞ்சினுக்கு அளிக்கப்பட்ட வெப்பம் Q_1 கலோரிகள்; பயன்படுத்தப்பட்ட வெப்பம் (Q_1-Q_2) கலோரிகள்.

எனவே,

$$\text{எஞ்சினின் பயனுறு திறன்} = \eta = \frac{\text{பயனுறு வேலைக்குச் செலவிடப் பட்ட வெப்பம்}}{\text{வெப்ப மூலத்திலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட வெப்பம்}}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$= 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

கார்னே எஞ்சினின் பயனுறு திறனுக்கும், வெப்பநிலைகளுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பு: கார்னே எஞ்சினின் இயக்கங்களைக் குறிக்கும் வரைப்படத்தில் A, B, C, D என்ற நிலைப் புள்ளிகளால் குறிக்கப்பெறும் வாயுவின் பருமன்கள் முறையே v_1, v_2, v_3 v_4 எனக் கொள்வோம்.

மாரு வெப்பநிலை மாற்றம் ABயின்பொழுது வாயுவினல் செய்யப்படும் வேலை : $RT_1 \log_e \frac{v_2}{v_1}$

மாரு வெப்பநிலை மாற்றம் CDயின்பொழுது வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை : $RT_2 \log_e \frac{v_3}{v_4}$

இயக்கவியல் முதலாம் விதிப்படி,

$$Q_1 = \frac{RT_1 \log_e \frac{v_2}{v_1}}{J}$$

$$Q_2 = \frac{RT_2 \log_e \frac{v_3}{v_4}}{J}$$

$$\therefore \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1 \log_e \frac{v_2}{v_1}}{T_2 \log_e \frac{v_3}{v_4}} \qquad \dots (1)$$

மாரு வெப்பநிலை மாற்றம் ABயைக் கருத்திற் கொள்வோம்.

$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$

$$\therefore \frac{v_2}{v_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

இதுபோலவே மாரு வெப்பநிலைக்கோடு CD குறிக்கும் இயக்கத்தை எடுத்துக் கொள்வோமேயானல்,

$$P_3 v_3 = P_4 v_4$$

$$\therefore \quad \frac{v_3}{v_4} = \frac{P_4}{P_3}$$

BC என்ற கோடு குறிக்கும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வின்போது,

$$P_2 v_2^{\gamma} = P_3 v_3^{\gamma}$$

$$P_3 = \frac{P_2 v_2^{\gamma}}{v_3^{\gamma}}$$

இதே போல் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு DAவுக்கு,

$$P_4 v_4^{\gamma} = P_1 v_1^{\gamma}$$

$$P_4 = \frac{P_1 v_1^{\gamma}}{v_4^{\gamma}}$$

எனவே,

$$\frac{v_3}{v_4} = \frac{P_4}{P_3} = \frac{P_1 v_1^{\gamma} / v_4^{\gamma}}{P_2 v_2^{\gamma} / v_3^{\gamma}}$$

$$\therefore \frac{v_3}{v_4} = \frac{P_1 v_1^{\gamma} v_3^{\gamma}}{P_2 v_2^{\gamma} v_4^{\gamma}}$$

$$\frac{v_3^{1-\gamma}}{v_4^{1-\gamma}} = \frac{P_1 v_1^{\gamma}}{P_2 v_2^{\gamma}}$$

$$= \frac{v_1 v_2^{\gamma}}{v_1 v_2^{\gamma}} \quad \left(\therefore \frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$= \frac{v_2^{1-\gamma}}{v_1^{1-\gamma}}$$

$$\therefore \frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1}$$

அல்லது
$$\frac{\log_e \frac{v_2}{v_1}}{\log_e \frac{v_3}{v_4}} = 1.$$

முதற் சமன்பாட்டில் இதைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

எனவே எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் η என்பது

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$= 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$= \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

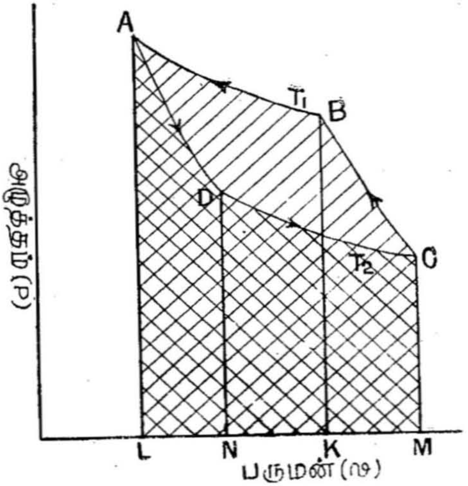
கார்னோ எஞ்சினின் நேர் எதிர்ப்பண்பு (Reversibility of Carnot's Cycle): ஒரு நிகழ்ச்சியில் குறிப்பிட்ட அளவு இயக்க மாறுதல்களுக்குக் குறிப்பிட்ட அளவு வெப்ப மாறுதல்கள் இருக்கின்றன எனக் கொள்வோம். இயக்க மாறுதல்கள் முழுவதும் எதிர்த்திசையில் நடைபெறுமாறு அமைக்கப்படும்பொழுது வெப்ப மாறுதல்கள் முழுவதும் எதிர்த்திசையில் கிடைக்குமாயின் அந் நிகழ்ச்சி நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள நிகழ்ச்சி எனப்படும். உதாரணமாக ஒரு வாயு திடீரென்று இறுக்கப்படும் பொழுது, வெப்பம் உருவாகின்றது. அது போலவே அவ் வாயு திடீரெனப் பெருக்க மடைந்தால் அது குளிர்ச்சி அடைகிறது. இது ஒரு நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள நிகழ்ச்சியாகும். இயக்கத்தினை எதிர்த்திசையில் மாற்றுங்கால் வெப்பநிகழ்வும் எதிராக மாற்றப்படுகிறது. ஆனால் உராய்வுக்கு எதிராக வேலை செய்யப்படும் பொழுது உண்டாகும் வெப்ப உற்பத்தி நேர் எதிர்ப்பண்புடையதல்ல. ஏனெனில் உருவாக்கப்பட்ட வெப்பத்தை முழுவதுமாகச் செயலாகத் திருப்பி மாற்றவியலாது. அதுபோலவே ஒரு நிகழ்வின்போது வெப்பக் கடத்தல், கதிர்வீச்சு முறைகளில் வெப்பம் இழக்கப்படுமாயின், அந்த நிகழ்வும் நேர் எதிர்ப்பண்புடையதாகாது.

உராய்வு சிறிதுகூட இல்லாதிருத்தலும், இயக்கங்கள் மாறாத வெப்பநிலைகளிலேயே நடைபெறச் செய்யத் தேவையாக, மாறு

வெப்பநிலை இயக்கங்கள் மிக மிக மெதுவாக நடைபெறுவதும், ஒரு நிகழ்வு நேர் எதிர்ப் பண்புடையதாக இருக்க இன்றியமையாதவை யாகும். கார்னோவின் இலட்சிய எஞ்சின் இவ்விரு பண்புகளையும் உடையதால் அது நேரெதிர் பண்புள்ள எஞ்சின் ஆகும்.

கார்னோவின் எதிர்முகச் சுற்று (Carnot's Reverse Cycle): கார்னோ எஞ்சினில் உள்ள வாயுவின் தொடக்கப்பருமன், அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை $P—V$ வரைப்படத்தில் A என்ற புள்ளியால் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். கார்னோவின் எதிர்முகச் சுற்று கீழ்க்கண்ட நான்கு இயக்கங்களை உடையது.

1. எஞ்சின் வெப்பக்கடத்தா மேடைமேல் வைக்கப்பட்டு, வாயு வெப்ப மாற்றீடற்ற பெருக்கத்தை அடையுமாறு செய்யப்



படம் 130. கார்னோ எதிர்முகச்சுற்று—சுட்டுப் படம்

படுகிறது. இவ்வியக்கம் AD என்ற வெப்ப மாற்றீடற்றக் கோட்டினால் குறிக்கப்பெறும். தொழிற்படுபொருள் $T_1°A$ வெப்ப நிலையிலிருந்து $T_2°A$ வெப்பநிலைக்குக் குளிர்கிறது. பெருக்கத்தின் பொழுது வாயுவினால் செய்யப்பட்ட வேலை $ADNL$ என்ற பரப்பக்குச் சமம்.

2. சிலிண்டர், $T_2°A$ வெப்பநிலையிலுள்ள வெப்ப ஏற்பியின் மேல் வைக்கப்பட்டு வாயு மாறா வெப்பநிலைப் பெருக்கத்தை அடைகிறது. இதனை மாறா வெப்பநிலைக்கோடு DC குறிக்கிறது.

இங்கு வெப்ப ஏற்பியிலிருந்து பொருள் ஏற்கும் வெப்பம் Q_2 கலோரிகளாம். வாயுவினுல் செய்யப்பட்ட வேலை $DCMN$ என்ற பரப்புக்குச் சமம் ஆகும்.

3. எஞ்சினை மீண்டும் வெப்பக்கடத்தா மேடைமேல் வைத்து, தொழிற்படுபொருளை வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் இறுக்க வேண்டும். இந் நிகழ்வால், வாயுவின் வெப்பநிலை $T_2°A$ லிருந்து $T_1°A$க்கு உயருகிறது. இதனை கோடு CB குறிக்கிறது. வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை $CBKM$ என்ற பரப்புக்குச் சமம்.

4. இறுதியாக மாருவெப்பநிலைக்கோடு $B\ A$ குறிக்கின்ற மாரு வெப்பநிலை இறுக்கம் $T_1°A$ வெப்ப நிலையில் நடைபெறுகிறது. இங்கு வாயுவினுல் வெளிவிடப்பட்ட வெப்பம் Q_1 கலோரிகள் என்போம். வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை $BALK$ என்ற பரப்பால் குறிக்கப்படுகிறது.

இந்த எதிர்முகச் சுற்றில், குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள வெப்ப ஏற்பியில் இருந்து Q_2 கலோரி வெப்பத்தைத் தொழிற்படு பொருள் ஏற்றுக்கொண்டு உயர் வெப்பநிலையில் உள்ள வெப்ப மூலத்திற்கு Q_1 கலோரி வெப்பத்தைக் கொடுக்கிறது. $ABCD$ பரப்பளவு குறிக்கின்ற அளவு வேலை வாயுவின் மேல் செய்யப்படுகிறது. இதுவே $Q_1 - Q_2$ கலோரி வெப்பத்தை அளிக்கின்றது. இவ்வெதிர்முகச்சுற்றினுல் செயல் தொடர்ந்து வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது. இந் நிலையிலேயே எஞ்சின் குளிர்பதனேற்றி (Refrigirator) யாக வேலை செய்கிறது என்கிருேம்.

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதி (Second Law of Thermodynamics) க்ளாஸியஸ் உரை (Clausius' Statement): கார்னேவின் எதிர்முகச் சுற்றில், குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள வெப்ப ஏற்பியிலிருந்து உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள வெப்ப மூலத்திற்கு வெப்பம் மாற்றப்படுகிறது. வெப்ப மூலம் எடுத்துக் கொள்ளும் வெப்பத்தைவிட, வெப்ப ஏற்பி குறைந்த அளவில்தான் வெப்பத்தைக் கொடுக்க இயலுமாதலாலும், எஞ்சினே சிறிதளவு வெப்பத்தைக் கொடுத்தாலன்றி, இம் மாற்றம் நடைபெற இயலாது. எஞ்சினின் தொழிற்படுபொருள் மூலமாக வெளியிலிருந்து, இம் மாற்றம் நிகழ உதவி கிடைத்தல் இன்றியமையாதது. இதுவே கிளாஸியஸின் வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி என்றழைக்கப்படுகிறது.

"புற உதவியின்றி, தானே இயங்கும் ஓர் எஞ்சினுல், குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு பொருளில் இருந்து உயர்ந்த

வெப்பநிலையிலுள்ள மற்ருெரு பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது.''

கெல்வின் உரை (Kelvin's statement): கார்னேவின் நேர் முகச்சுற்றில், வெப்ப மூலத்திலிருந்து அதிக வெப்பம் எடுக்கப்பட்டு, சிறிதளவு வெப்ப ஏற்பிக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. மிகுதி வெப்பம் பயனுறு வேலையாக மாற்றப்படுகிறது. வெப்ப மூலத்தின் வெப்ப ஆற்றல் குறையத் துவங்கும். வெப்ப ஏற்பியின் வெப்ப ஆற்றல் அதிகமாகும். வெப்ப மூலமும் ஏற்பியும் ஒரே வெப்பநிலையை அடைந்து விட்டால், இந் நிகழ்வு தொடர்ந்து நடைபெற இயலாது. ஏனெனில் பயனுறு வேலை செய்யப்பட, மூலத்தின் வெப்பநிலையை விட, குறைவான வெப்பநிலையை உடைய ஏற்பித் தேவை. மேலும் சுற்றுப்புறத்திலுள்ள, மிகக் குளிர்ந்த பொருளைவிட, வெப்ப மூலம் குளிர்ந்து விடுமேயானுல் அதனை மேலும் வெப்ப மூலமாகப் பயன் படுத்த முடியாது. இக் கருத்தைக் கெல்வின் வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதியாகக் கூறினர்.

'' ஒரு பொருளை அதன் சுற்றுப்புறங்களிலுள்ள மிகக் குளிர்ந்த பொருளின் வெப்பநிலைக்குக் கீழாகக் குளிர்வித்துத் தொடர்ச்சியாக ஆற்றலைப் பெற முடியாது.''

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதியை நேரிடையாக நிரூபிக்க இயலாது. ஆனுல் இது எல்லோராலும், ஒத்துக் கொள்ளப்பட்ட, மீறப்பட முடியாத விதியாகும். இவ் விதிக்கு முரண்பட்ட எச் செயலும் நடைமுறைக்கு ஒவ்வாதது.

கார்னே தேற்றம் (Carnots Theorem): வெப்ப எஞ்சின்களின் பயனுறு திறன் குறித்துக் கார்னே உருவாக்கிய கொள்கை, அவர் பெயராலேயே கார்னே தேற்றம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. இத் தேற்றத்தின் படி.

'' வெப்ப மூலம், வெப்ப ஏற்பி ஆகியவற்றின் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைகளுக்கு இடையே செயற்படுகின்ற நேர், எதிர்ப்பண்பு உள்ள வெப்ப எஞ்சின்கள் ஒரே பயனுறு திறனை உடையவை மேலும் கொடுக்கப்பட்ட இரு வெப்பநிலைகட்கு, இப் பயனுறு திறனை விட, அதிகமானத் திறனை உடைய எஞ்சின் இருக்க இயலாது.''

நிரூபணம்: η_1 η_2 என்ற இரு வேறுபட்ட பயனுறு திறன் களையும் நேரெதிர்ப் பண்புகளையும் உடைய இரு எஞ்சின்களைக் (A, B) கருத்திற் கொள்வோம். அவற்றிலுள்ள தொழிற்படு பொருள்களும் வேறுபட்டவை என்போம். பயனுறுதிறன் η_1,

பயனுறுதிறன் η_2 ஐ விட அதிகமானதென்போம். அதாவது $\eta_1 > \eta_2$ எஞ்சின் A நேர்முகமாக இயங்கும் பொழுது, எஞ்சின் B எதிர் முகமாக இயக்கப்படும்படி, இவ்விரு எஞ்சின்களும் இணைக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம். $T_1°A$ வெப்ப நிலையிலுள்ள மூலத்திற்கும் $T_2°A$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஏற்பிக்கும் இடையே எஞ்சின்கள் செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். எஞ்சின் A, $T_1°A$ வெப்ப நிலையில் மூலத்திலிருந்து Q_1 கலோரி வெப்பத்தைப் பெற்று, $T_2°A$ வெப்பநிலையில் ஏற்பிக்கு Q_2 கலோரி வெப்பத்தைக் கொடுக்கும். எஞ்சினால் செய்யப்பட்ட வேலை $(Q_1 - Q_2)$க்குச் சமமாகும். எஞ்சின் A, எஞ்சின் Bயை எதிர்த்திசையில் இயக்குவதாகவும், எஞ்சின் Bயின் மேல் செய்யப்படத் தேவையான வெப்ப அளவு $(Q_1 - Q_2)$ அளவே எனவும் கொள்வோம். எதிர்முகச் சுற்றில் எஞ்சின் B, ஏற்பியிலிருந்து Q^1_2 கலோரி வெப்பத்தை $T_2°A$ வெப்பநிலையில் ஏற்று, Q_1^1 கலோரி வெப்பத்தை $T_1°A$ வெப்ப நிலையில் வெப்ப மூலத்திற்குக் கொடுக்கும். எனவே,

$$Q_1 - Q_2 = Q_1^1 - Q_2^1$$

எஞ்சின் Aயின் பயனுறுதிறன் $= \eta_1 = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

என்சின் Bயின் பயனுறுதிறன் $= \eta_2 = \dfrac{Q_1^1 - Q_2^1}{Q_1^1}$

நம் கொள்கைப்படி, $\eta_1 > \eta_2$

அதாவது $\dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1} > \dfrac{Q_1^1 - T^1_2}{Q_1^1}$

$$\frac{1}{Q_1} > \frac{1}{Q_1^1}$$

$$Q_1 < Q_1^1$$

அல்லது $Q_1^1 > Q_1$

மேலும் $Q_1 - Q_2 = Q_1^1 - Q_2^1$

எனவே $Q_2 < Q_2^1$

$Q_2^1 > Q_2$.

ஆனால் Q_1 கலோரி வெப்பம் எஞ்சின் Aயால் $T_1°A$ வெப்ப நிலையில் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. Q_1^1 கலோரி வெப்பம் அதே வெப்பநிலையில், எஞ்சின் Bயால் வெளிவிடப்பட்டதாகும்.

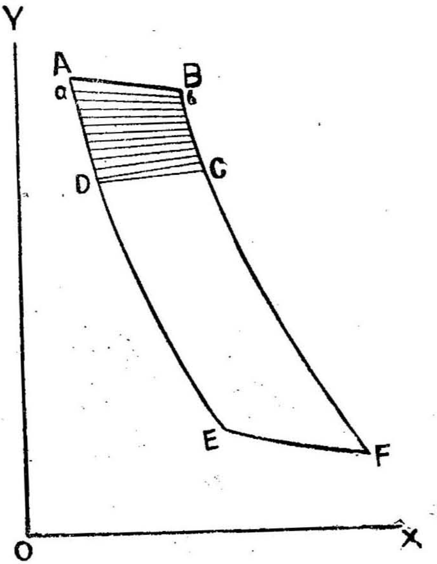
$Q_1{}^1 > Q_1$ என்பதால், $T_1{}^\circ A$ வெப்பநிலையில் மூலம் ஈட்டிய வெப்பம் $(Q_1{}^1 - Q_1)$ கலோரிகள் ஆகும். இதுபோலவே $T_2{}^\circ A$ வெப்ப நிலையில் ஏற்பி இழந்த வெப்பம் $(Q_2{}^1 - Q_2)$ கலோரிகளாம். எனவே குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள ஏற்பியிலிருந்து, 1 உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள வெப்ப மூலத்திற்கு வெப்பம் மாற்றப்படுகிறது. ஆனால் இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதிக்கு இம் முடிவு முரண்பாடானது. எனவே $\eta_1 > \eta_2$ என்ற நமது கோட்பாடு, தவறானதென்பது புலனாகும். இதுபோலவே, எஞ்சின் B நேர் முகமாக இயங்குகிறது எனவும், எஞ்சின் A எதிர்த்திசையில் இயக்கப்படுகிறது எனவும் கொள்வோமாயின் η_2, η_1ஐ விட அதிக மதிப்புடையதாக இருக்க இயலாது என நிரூபிக்கலாம். ஆகையால் எஞ்சின் Aயின் பயனுறுதிறன் η_1, எஞ்சின் Bயின் பயனுறுதிறன் η_2 ஆகிய இரண்டும் சம மதிப்புடையன. ஆகையால், குறிப்பிட்ட இரு வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயற்படுங்காலை, நேர், எதிர்ப் பண்புள்ள வெப்ப எஞ்சின்கள் எல்லாம் ஒரே பயனுறுதிறனை உடையன. மேலும் மூலம், ஏற்பி ஆகியவற்றின் இரு வேறு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலைகட்கு இடையே செயல்படும் எஞ்சின்களுள், நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள எஞ்சின்தான் பெரும் மதிப்பை உடைய பயனுறுதிறனை உடையதாக இருக்கும் எனவும் நிரூபிக்கலாம்.

கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை (Kelvin's Absolute Scale of Temperature) அல்லது வெப்ப இயக்க வியல் சார்பிலா அளவீட்டு முறை (The Absolute Theramodynamic Scale of Temperature): நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் எஞ்சினிலுள்ள தொழிற்படு பொருளின் தன்மையைப் பொருத்ததன்று. வெப்ப மூலத்தின் வெப்பநிலையையும் ஏற்பியின் வெப்பநிலையையும் மட்டுமே பொருத்தது என நாம் கண்டறிந்தோம். எனவே வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கும், செய்யப்பட்ட வேலைக்கு மிடையே ஒரு தொடர்பினை நிறுவி எந்திர அலகுகளால் வெப்ப நிலையை அளக்க இயலும். இவ் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை பொருளின் இயல்பைப் பொருத்தது அல்லவாதலால் இம் முறை சார்பிலா அளவீட்டு முறையாகும். இத்தகையதொரு அளவீட்டு முறையைக் கெல்வின் நிர்ணயித்தமையால் இதைக். கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை அல்லது வெப்ப இயக்க வியல் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை என்று அழைக்கிறோம்.

இயல்பான அழுத்தத்தில், நீரின் கொதி நிலைக்கும், பனிக் கட்டியின் உருகு நிலைக்குமிடையே செயல்படுகின்ற ஒரு வெப்ப எஞ்சினைக் கருத்திற் கொள்வோம். இதற்கான கார்னோ சுற்று P-V வரைப்படத்தில் $ABCD$ என்பதால் குறிக்கப்படுகிறது என்போம்.

எஞ்சினுல் செய்யப்பட்ட பயனுறு வேலை *ABCD* என்ற பரப்புக்கு எண் மதிப்பில் சமமாக இருக்கும். மாரு வெப்பநிலைக்கோடுகள் *AB* அல்லது *CD*க்கு இணையாக *ABCD* என்ற பரப்பு, நூறு சம பிரிவுகளாகப் பகுக்கப்படுகிறது என்க.

நீரின் கொதிநிலைக்கும், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலைக்கும் இடையே செயல்படுகின்ற கார்னே எஞ்சின் *P-V* வரைப்படத்தில், பயனுறு வேலையைக் குறிக்கும் *ABCD*யின் பரப்பில், நூறில் ஒரு



படம் 131.

பங்கினை அடைக்கும் இரு மாரு வெப்பநிலை கோடுகளுக்கான வெப்பநிலை வேறுபாடே, ஒரு டிகிரி என கெல்வின் வரையறுத்தார்.

வரைப்படத்தில், *AB ba*-யின் பரப்பு, *ABCD*யின் பரப்பில் நூறில் ஒரு பங்கு எனில், *AB*, *ab* என்னும் இரு மாரு வெப்பநிலை கோடுகளுக்கான வெப்பநிலைகளின் வேறுபாடு, கெல்வினின் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையில் ஒரு டிகிரி ஆகும். இதை 1° கெல்வின் என எழுதுவோம்.

நீரின் கொதிநிலையில் உள்ள மூலத்தின் வெப்பநிலையை மாருததாகக் கொண்டு ஏற்பியின் வெப்பநிலையைக் குறைத்துக் கொண்டே செல்வோமாயின், செய்யப்படும் பயனுறு வேலையின் மதிப்பு அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். வெப்பமாற்றீடற்ற

பெருக்கம் BC தொடர்ந்து நிகழ்வதாகக் கொள்வோம். தொழிற்படு பொருளின் வெப்பநிலை குறையத் துவங்கும். விரைவில் மேலும் பெருக்கம் ஏற்பட இயலாதவாறு அப் பொருள் குளிர்ந்துவிடும். அந்நிலையில் வரையப்படும் மாறு வெப்பநிலைக்கோடு EF, சுழிமாறு வெப்பநிலைக்கோடு எனக் கெல்வின் கண்டார். அதன் வெப்பநிலை அவருடைய வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையின் கீழ்த் திட்ட வரையாகும். இதை, $0°K$ எனக் குறிக்கின்றோம். இவ் வெப்பநிலை தனி வெப்பநிலை அளவீட்டுத் தனிச் சுழிக்குச் ($0°A$) சமமாகும்.

நீரின் கொதிநிலையையும், பனிக்கட்டியின் உருகு நிலையையும் θ_1, θ_2 எனக் கொள்வோம். கார்னோ தேற்றத்தின்படி எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் E இவ்விரு வெப்பநிலைகளையும் பொறுத்தது.

$$\eta = f(\theta_1, \theta_2)$$

இங்கு f என்பது சார்பு முறை என் (Function) ஆகும் உயர்ந்த வெப்பநிலையான θ_1-ல் எஞ்சினால் எடுத்துக் கொள்ளப் பட்ட வெப்பம் Q_1 எனவும், குறைந்த வெப்பநிலையான θ_2-ல் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் Q_2 எனவும் கொள்வோமாயின், பயனுறு திறன் η என்பது,

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\therefore \quad \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = f(\theta_1, \theta_2)$$

அல்லது $$\frac{Q_1}{Q_2} = F(\theta_1, \theta_2)$$

இங்கு F என்பது வெப்பநிலைகளைப் பொறுத்த, மற்றொரு சார்பு எண் ஆகும்.

(θ_1, θ_2) வெப்பநிலைகட்கிடையே ஓர் எஞ்சினும் (θ_2, θ_3) வெப்பநிலைகட்கிடையே மற்றொரு எஞ்சினும், (θ_1, θ_3) வெப்பநிலை கட்கிடையே மூன்றாவதொரு எஞ்சினும் செயல்படுவதாகக் கொண்டால்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = F(\theta_1, \theta_2)$$

$$\frac{Q_2}{Q_3} = F(\theta_2, \theta_3)$$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = F(\theta_1, \theta_3)$$

ஆனால் $\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_3}$

$$\therefore \quad F(\theta_1, \theta_2) \times F(\theta_2, \theta_3) = F(\theta_2, \theta_3)$$

$F(\theta_1, \theta_2)$ என்பது $\frac{\Psi(\theta_1)}{\Psi(\theta_2)}$ என்ற வார்த்தை

உடையதாக இருந்தால்தான் மேற்கூறிய தொடர்பு மெய்யானதாக இருக்க முடியும்.

$$\therefore \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Psi(\theta_1)}{\Psi(\theta_2)}$$

வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறை எதுவாயினும் வெப்ப மூலத்தின் வெப்பநிலை அதிகரித்தால் அதிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வெப்பத்தின் அளவும் அதிகரிக்கும். அதுபோலவே ஏற்பியின் வெப்பநிலை குறைந்தால் அதற்குக் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்தின் அளவும் குறையும். எனவே $\Psi(\theta)$ என்பது வெப்பநிலை θ-உடன் நேர்த்தொடர்புடையதாகும். இதன் மதிப்பு X, θவின் முதல் மடியைப் பொருத்தது ஆகும்.

$$\therefore \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{X_1}{X_2}$$

நீரின் கொதிநிலையையும், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையையும் கருத்திற் கொண்டால்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{X \text{ கொதிநிலை (நீர்)}}{X \text{ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.}}$$

நீரின் கொதிநிலையையும், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையையும் தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையில் T_{100}, T_0 எனக் கொண்டால்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_{100}}{T_0}$$

$$\therefore \quad \frac{T_{100}}{T_0} = \frac{X \text{ நீரின் கொதிநிலை}}{X \text{ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.}}$$

அல்லது $$\frac{T_{100} - T_0}{T_0} = \frac{X \text{ நீரின் கொதிநிலை} - X \text{ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.}}{X \text{ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.}}$$

இவ்விரு வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைகளிலும், நீரின் கொதி நிலைக்கும் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலைக்கும் இடையேயுள்ள வெப்பநிலை நெடுக்கம் நூறு சமபாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது.

$$\therefore \quad \frac{100}{T_0} = \frac{100}{X \text{ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.}}$$

அதாவது $T_0 = X$ பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை.

இதிலிருந்து $T_{100} = X$ நீரின் கொதிநிலை.

இரு அளவீட்டு முறைகளிலும் திட்டவரைகள் ஒன்றே; மேலும் ஒரு டிகிரி என்பதன் மதிப்பும் இரு பிரிவுகளிலும் சமம். எனவே தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையும், கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையும் ஒன்றேயாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஒரு கார்னோ எஞ்சின், $227°C$, $127°C$ ஆகிய இரு வெப்ப நிலைகளுக்கிடையே செயல்படுகின்றது. உயர் வெப்பநிலையில் எஞ்சின் 5×10^4 கலோரிகள் வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து கொள்கிறது. எஞ்சின் ஆற்றும் பணியை ஜுலில் கணக்கிடுக.

உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள $T_1°A$ வெப்ப மூலத்திலிருந்து எஞ்சின் உட்கவர்ந்து கொள்ளும் வெப்பம் Q_1 எனவும், குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள $T_2°A$ ஏற்பிக்கு அது அளிக்கும் வெப்பம் Q_2 எனவும் செய்யப்பட்ட பயனுறு வேலை W எனவும் கொண்டால்,

$$\text{பயனுறுதிறன் } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_1}{T_2}$$

கார்னோ சுற்றுவில், செய்யப்பட்ட பயனுறு வேலை,

$$= W = Q_1 - Q_2$$

$$\therefore \quad \frac{W}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$W = Q1 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$T_1 = 227°C = (227 + 273)°A = 500°A$$

$$T_2 = 127°C = (127 + 273)°A = 400°A$$

எனவே,

$$W = 5 \times 10^4 \times \frac{500 - 400}{500} \text{ கலோரி}$$

$$= 10^4 \text{ கலோரி}$$

$$= 10^4 \times 4{\cdot}2 \text{ ஜூல்.}$$

2. ஒரு கார்னோ எஞ்சின் $120°C, 0°C$ ஆகிய இரு வெப்ப நிலைகளுக்கிடையே செயலாற்றுகின்றது. எஞ்சினின் பயனுறு திறனைக் காண்க.

$$\text{பயனுறுதிறன் } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$T_1 = 120°C$$

$$= (120 + 273)°A = 393°A$$

$$T_2 = 0°C$$

$$= (0 + 273°)\, A = 273°A$$

$$\eta = \frac{393 - 273}{393}$$

$$= 0{\cdot}3054$$

12. வெப்பம் பரவுதல்

(Transmission of Heat)

(i) வெப்பக் கடத்தல் (Conduction of Heat)

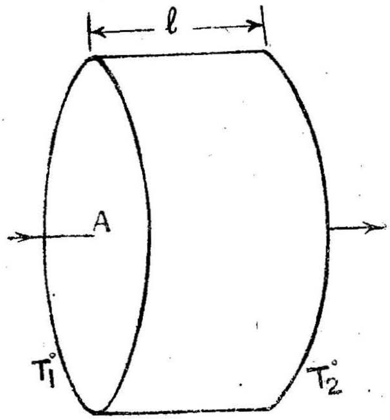
சீராக வெப்பப்படுத்தப்படாத ஒரு பொருளில், உயர்ந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பகுதியிலிருந்து, குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள பகுதிக்கு, அப் பொருளின்கண் அடங்கி உள்ள மூலக்கூறுகளின் அசைவின்றி, வெப்பம் பரவும் முறையை வெப்பக் கடத்தல் என அழைக்கின்றோம். உதாரணமாக நீளமான ஓர் உலோகத்தண்டினை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் ஒரு முனை உயர்வெப்பநிலையிலும் மறுமுனை அறை வெப்ப நிலையிலும் இருப்பதாகக் கருத்திற்கொள்வோம். உயர்வெப்ப நிலையிலுள்ள முனையிலிருந்து மறுமுனைக்கு வெகுவிரைவில் வெப்பம் வந்தடைவதை நாம் கண்ணுற இயலும். மிகுந்த அளவில், விரைவாக, வெப்பத்தைத் தன் வழியே கடத்தவல்ல பொருள்கள் 'எளிதில் கடத்திகள்' (Good Conductors) எனப்படும். பொதுவாக எல்லா உலோகங்களுமே எளிதில் கடத்திகளாகும். சிறிதளவே வெப்பத்தை மிக மெதுவாகக் கடத்துகின்ற பொருள்கள் 'அரிதில் கடத்திகள்' (Bad Conductors) எனப்படும். தக்கை, பஞ்சு போன்றவை அரிதில் கடத்திகளுக்கு உதாரணங்களாகும்.

வெப்பக் கடத்துதிறன் (Thermal Conductivity): A அலகு சீரான குறுக்கு வெப்பப் பரப்பினையும், l அலகு நீளத்தையும் உடைய ஓர் உலோகத்தண்டின் ஒருமுனை மாறுத உயர்ந்த வெப்பநிலையிலும் ($T_1°$), மறுமுனை அறை வெப்பநிலையிலும் ($T_2°$), இருப்பதாகக் கொள்வோம். மாறுத நிலையில் சூடான முனையி லிருந்து t வினாடிகளில், அறைவெப்பநிலையிலுள்ள முனைக்குக் கடத்தப்படும் வெப்பம் Q, கீழ்க்கண்டவாறு சார்புடையதாக இருக்கிறது.

(1) கடத்தப்பட்ட வெப்பம் Q_1, தண்டின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புக்கு (A) நேர்விகிதத்தில் உள்ளது.

$$Q \propto A.$$

(2) இரு முனைகளுக்கும் இடையிலுள்ள வெப்பநிலை மாறுபாட்டுடன் ($T_1 - T_2$), கடத்தப்படும் வெப்பம் Q நேர்விகிதத்தில் உள்ளது.



படம் 132.

$$Q \propto (T_1 - T_2)$$

(3) ஒரு முனையிலிருந்து மறுமுனைக்கு வெப்பம் கடத்தப்படும் நேரத்திற்கு (t), கடத்தப்படும் வெப்பம் Q, நேர்விகிதத்தில் உள்ளது.

$$Q \propto t$$

(4) கடத்தப்படும் வெப்பம் Q, இரு முனைகட்கிடையே உள்ள தூரத்திற்கு (l) எதிர்விகிதத்தில் உள்ளது.

$$Q \propto \frac{1}{l}$$

அதாவது,

$$Q \propto A.\frac{T_1 - T_2}{l} \cdot t$$

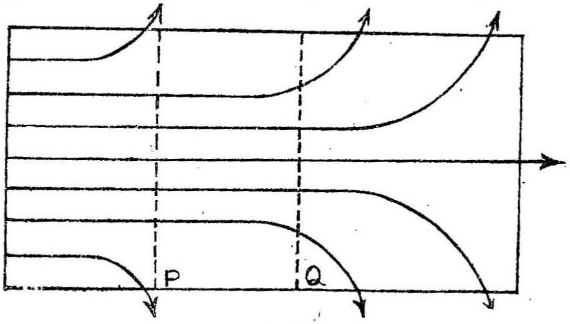
அல்லது,

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{l} \cdot t$$

K என்பது பொருளின் தன்மையைப் பொருத்த ஒரு மாறிலியாகும். இதை அப் பொருளின் வெப்பக் கடத்துத் திறன் என்றழைக்கிருேம். $\frac{T_1 - T_2)}{l}$ என்பதை வெப்பநிலே வாட்டம் (Temperature Gradient) என்கிருேம். மேற்கண்ட சமன்பாட்டில், $A = 1; (T_1 - T_2) = 1; l = 1; t = l$ எனில்,

$$Q = K.$$

எனவே "ஓரலகு நீளமும், ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் கொண்ட ஓர் உலோகத்தண்டின் இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள வெப்பநிலே வேறுபாடு ஒரு டிகிரியாக உள்ள போது ஒரு வினுடியில் அப் பொருளினூடே கடத்தப்படும் வெப்பம் அப் பொருளின் வெப்பக்கடத்துத் திறன்" எனப்படும்.

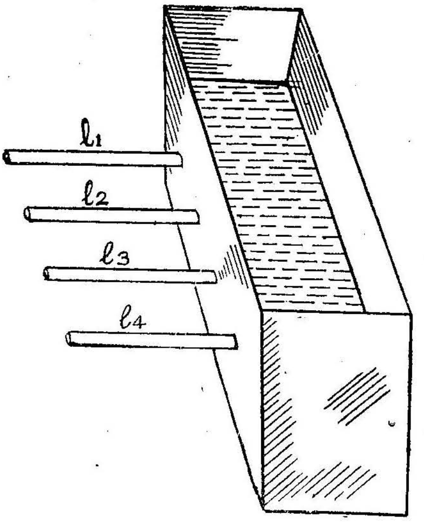


படம் 133.

தண்டின் ஒரு முனை சூடுபடுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். அம் முனையில் இருந்து சற்று தொலேவில் P, Q என்ற தளங்களேக் கருத்திற்கொள்வோம். சூடான முனைக்கு அருகிலுள்ள P என்ற தளத்தின் வெப்பநிலே Q என்ற தளத்தின் வெப்பநிலேயைவிட சற்று அதிகமாக இருக்கும். எனவே Pயில் வெப்பநிலே வாட்டம் அதிகமாகவும் Qவில் இருந்து வெளியேறும் வெப்பத்தைவிட Pயினுள் புகும் வெப்பம் அதிகமாகவும் இருக்கும். மிகுதியுள்ள வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி அத் தளத்தைச் சூடுபடுத்தப் பயன்படுகிறது. எஞ்சிய பகுதி கதிர்வீசல் முறையில் இழக்கப்படுகிறது. தளத்தின் வெப்பநிலே உயர உயர கதிர்வீச்சு முறையும் வெளிச் செல்லும் வெப்பத்தின் அளவும் அதிகரிக்கும். ஆனல் தளத்தினுள் தங்கிவிடும் வெப்பம் கிட்டத்தட்ட ஒரே மதிப்பை உடையதாக இருக்கும். விரைவில், வெளிச்செல்லும் வெப்பத்தின் அளவும், தங்கிவிடும் வெப்பத்தின் அளவும் சமமாகும் நிலே உருவாகும். அதன்பின் தளத்தின் வெப்பநிலேயில் உயர்வு ஏற்படாது. இந்த

நிலையை "மாறு வெப்பநிலைகளைக் கொண்ட நிலை" (Steady State) என்றழைக்கிறோம்.

மாறு வெப்பநிலைகளைக்கொண்ட நிலையை அடையுமுன்னர், எல்லா பொருள்களுக்கும், தண்டு வெப்பப்படுத்தப்படும் வீதம் ஒன்றாக இராது. இதுபொருளின் வெப்பங்கடத்து திறனை மட்டுமின்றி, ஓரலகு பருமனுள்ள அப்பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறனையும்பொருத்தது. மாறு வெப்பநிலைகளைக் கொண்ட நிலையை அடையுமுன்னர், ஒரு பொருளின் வழியே வெப்ப அலைகள் பரவும் வீதம் அப்பொருளின் வெப்பக்கடத்துத் திறனுக்கும், வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கும் உள்ள தகவுயென கெல்வின் (Kelvin) நிர்ணயித்தார். பொருளின் அடர்த்தியை ρ எனவும், வெப்ப எண் S எனவும் கொண்டால், வெப்ப அலை பரவும் வீதத்தை $\frac{K}{\rho S}$ எனக் கொள்ளுதல் வேண்டும். இவ் விகிதத்தை $\frac{K}{\rho S}$, பொருளின் வெப்ப விரவுத் திறன் (Thermal Diffusion) அல்லது வெப்பநிலை கடத்துத்திறன் (Thermometric Conductivity) என்கிறோம்.



படம் 134, உலோகங்களின் வெப்பக் கடத்துத்திறனை ஒப்பிடுதல்

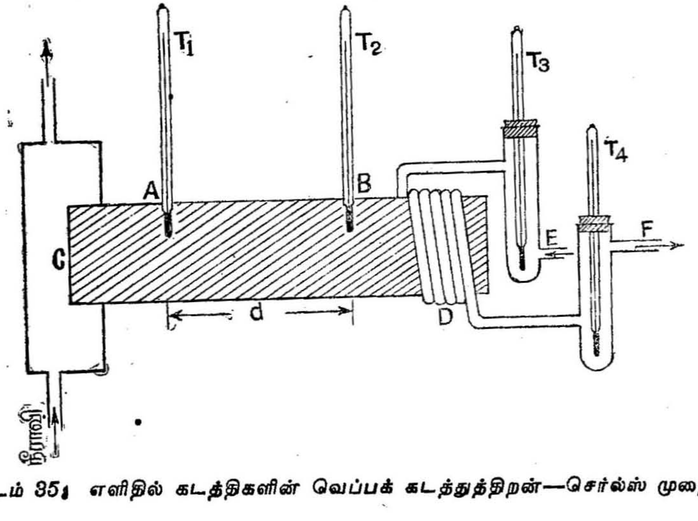
வெவ்வேறு உலோகங்களின் வெப்பக் கடத்துத்திறனை ஒப்பிடுதல்: ஒரே மாதிரியாக மெருகேற்றப்பட்ட, ஒரே குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும், நீளத்தையும் உடைய பல்வேறு உலோகங்

களில் ஆன தண்டுகள் ஒரு நீர்த்தொட்டியுடன் படத்தில் காட்டியவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தண்டுகளின்மேல் மெழுகு, ஒரே சீராகப் பூசப்பட்டுள்ளது. தொட்டிக்குள் கொதிநீர் ஊற்றப்படுகிறது. தொட்டியிலுள்ள நீரின் வெப்பநிலை மாருமல் கொதிநிலையிலேயே இருக்குமாறு அதனுள் நீராவியைச் செலுத்தி சரிசெய்து கொள்ளவேண்டும். தண்டுகளில் வெவ்வேறு நீள அளவுக்கு மெழுகு உருகிய பிறகு, ஒரு மாருதநிலை உண்டாவது தெரியும். இம் மாருதநிலை ஏற்பட்டதும், மெழுகு உருகிய பகுதிகளின் நீளங்களை அளந்து l_1, l_2, l_3...எனக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். தண்டுகளின் வெப்பக்கடத்துத் திறன்கள் முறையே, K_1, K_2, C_3..........எனக் கொள்வேமேயாளுல்,

$$K_1 : K_2 : K_3 = l_1^2 : l_2^2 : l_3^2$$

தண்டுகளின் வெப்பக்கடத்துத் திறன்கள் தண்டுகளில் மெழுகு உருகிய நீளங்களின் இருமடிகளுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கின்றன.

எளிதில் கடத்திகளின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் கணக்கிடுதல் (செர்ல்ஸ் முறை) (Searle's Method): சிறிய ஆனுல், பருமனுன



படம் 35. எளிதில் கடத்திகளின் வெப்பக் கடத்துத்திறன்—செர்ல்ஸ் முறை

உலோகத்தண்டுகளின் வெப்பக் கடத்துத்திறனை நிர்ணயிக்க செர்ல்ஸ் (Searles) ஓர் எளிய உபகரணத்தை அமைத்தார். இவ் வமைப்பில், 30 செ.மீ. நீளமும், 3·8 செ.மீ. விட்டமும் உள்ள உருளை வடிவ தண்டின் ஒரு முனையில் நீராவி அறையும், மறுமுனையில் ஓர் உலோகச் சுருள் குழாயும் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

தண்டின் நடுவில் இரு துளைகள் A, B இடப்பட்டுள்ளன. அத் துளைகளில் சிறிதளவு பாதரசம் ஊற்றி வைக்கப்பட்டு இருக்கும். இரு வெப்பநிலைமானிகள் (T_1, T_2) அவற்றின் குமிழ்கள் பாதரசத்தில் மூழ்கி இருக்கும்வண்ணம் செருகி வைக்கப்பட்டுள்ளன. சுருள் குழாயினுள் ஒரே சீரான வேகத்தில் மாருத அழுத்த முகட்டில் (Constant Pressure Head) இருந்து நீர் செலுத்தப்படுகிறது. சுருள் குழாயினுள் நுழையும் நீரின் வெப்பநிலையையும், குழாயிலிருந்து வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும், இரு நுட்பமான வெப்ப நிலைமானிகளைக் (T_3, T_4) கொண்டு அளவிடுதல் வேண்டும். உலோகத்தண்டு, கம்பளியால் போர்த்தப்பட்டு ஒரு மரப்பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் தண்டிலிருந்து வெப்பக் கதிர்வீச்சு முறையில் வெப்பம் வெளிச் செல்வது தடுக்கப்படுகிறது.

மாரு வெப்பநிலைகளைக் கொண்ட நிலையைத் தண்டு அடைந்தவுடன், அதாவது, வெப்பநிலைமானிகள் மாருத அளவீடுகளைக் காட்டும்பொழுது நிறை கணக்கிடப்பட்ட ஒரு முகவையில் t விஞடிகளுக்கு வெளியேறும் நீரினை எடுத்துக்கொண்டு அதன் நிறையைக் கணக்கிடவேண்டும். வெப்பநிலைமானிகள் காட்டும் அளவீடுகள் முறையே T_1, T_2, T_3, T_4 என்போம். முகவையில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட நீரின் நிறையை m கிராம் என்க; நீரின் வெப்ப எண் ஒன்று எனக் கொள்வோமாயின்,

தண்டின் குறுக்கு t விஞடிகளில் கடத்தப்பட்ட வெப்பம் $\Big\} = m \times 1 \times (T_4 - T_3)$ கலோரிகள்

தண்டின் வெப்பநிலை வாட்டம் : $\dfrac{T_1 - T_2}{d}$

தண்டின் நடுவிலுள்ள துளைகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் 'd' ஆகும். தண்டின் ஆரம் 'r' எனக் கொள்வோமாயின் தண்டின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $= \pi r^2$ ஆகும். எனவே,

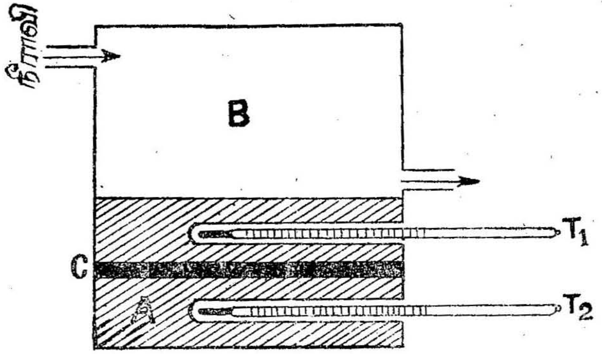
$$m(T_4 - T_3) = K . \pi r^2 . \frac{T_1 - T_2}{d} . t$$

$$\therefore \quad K = \frac{d}{\pi r^2 (T_1 - T_2)\, t} \times m(T_4 - T_3).$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட உலோகத்தண்டின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் (K) கணக்கிடலாம். சுருள் குழாயினுள் எவ்வளவு சீராகவும், எவ்வளவு மெதுவாகவும் நீர் செலுத்தப்

படுகிறது என்பதைப் பொருத்து இச் சோதனையில் நிர்ணயிக்கப் பட்ட வெப்பக்கடத்துத் திறன் மதிப்பு அமையும்.

ஓர் அரிதில் கடத்தியின் வெப்பக் கடத்துத்திறனைக் காணல் : லீ-வட்டு முறை (Lee's Disc Method): அட்டை (Card Board) அல்லது எபொனைட் போன்ற அரிதில் கடத்திகளை வட்டுவடிவில்,



படம் 136. அரிதில் கடத்தியின் வெப்பக் கடத்துத்திறன்—லீவட்டு முறை

லீயும், சார்ல்டனும் (Charlton) உருவாக்கிய கருவியில் பயன் படுத்தி அதன் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் கணக்கிடுகிறோம். ஒரு தாங்கியில் இருந்து சமநீளமுள்ள கயிறுகள் மூலமாகத் தடித்த நிக்கலால் மெருகேற்றப்பட்ட, உருளைவடிவ, பித்தளைப்பாளம், (Slab) பாளத்தின் அடிப்பரப்பு கிடைத்தளத்தில் இருக்குமாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. பாளத்தின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையே உடைய ஒரு வட்டு, அரிதில் கடத்தி ஒன்றிலிருந்து வெட்டப்பட்டு பாளத்தின்மேல் வைக்கப்படுகிறது. இவ்வட்டின்மேல் ஒரு நீராவி அறை வைக்கப்பட்டுள்ளது. நீராவி அறையின் ஆரமும், பாளத்தின் ஆரமும் ஒரே மதிப்பை உடையனவாக இருத்தல் இன்றியமையாதது. பாளத்தில் ஒரு துளை இடப்பட்டு அத் துளையில் சிறிது பாதரசம் ஊற்றி வைக்கப்பட்டு இருக்கும். இத் துளையில் செருகப்பட்டுள்ள வெப்பநிலைமானியின் மூலம் உலோகப் பாளத்தின் வெப்பநிலையை அறியலாம். நீராவியின் வெப்பநிலையை அளக்க மற்றொரு வெப்பநிலைமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது.

நீராவி அறைக்குள் நீராவி செலுத்தப்படும்பொழுது வட்டின் வழியாக உலோகப்பாளத்திற்கு, வெப்பம் கடத்தப்படுகிறது. ஒரு பகுதி வெப்பம் கதிர்வீச்சு முறையில் வெளியேறிவிடும். எஞ்சிய பகுதி வெப்பம் உலோகப்பாளத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்தும். உலோகப்பாளத்தின் வெப்பநிலை உயர்ந்தால் வட்டின் வெப்பநிலை

வாட்டம் குறையவேண்டும். ஆனால் உலோகப் பாளத்தின் வெளிப்பரப்பில் இருந்து கதிர்வீச்சு முறையில் வெளியேறும் வெப்ப அளவு அதிகரிக்கும். வட்டின் மூலமாக உலோகப்பாளத்துக்கு கடத்தப்படும் வெப்பமும், பாளத்தின் வளைப்பரப்புகளில் இருந்தும், அடிப்பரப்பில் இருந்தும் கதிர் வீச்சினால் வெளியேறும் வெப்பமும் சமமாகும் நிலை விரைவில் அடையப்பெறும். இவ் வெப்ப நிலை T_2°யையும், நீராவியின் வெப்பநிலை T_1°யையும் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். வட்டின் ஆரமும், தடிமனும் முறையே r எனவும் d எனவும் அளவிடுவோம்.

$$\text{வட்டின் வெப்பநிலை வாட்டம்} = \frac{T_1 - T_2}{d}$$

வெப்பநிலைகள் மாறுநிலை எய்தியபின், வட்டின் வழியே ஒரு வினாடியில் கடத்தப்படும் வெப்பம் $= K.\, \pi r^2 . \dfrac{T_1 - T_2}{d}$ கலோரி.

இதில் K என்பது அரிதில் கடத்தியின் வெப்பக்கடத்துத் திறனாகும்.

வட்டு வெளியில் எடுக்கப்பட்ட பின்னர், உலோகப் பாளத்தை நீராவி அறையுடன் ஒன்று சேர்த்துப் பாளத்தைச் சூடுபடுத்த வேண்டும். உலோகப்பாளத்தின் வெப்பநிலை T_2°க்குமேல் 10 டிகிரி உயர்ந்தபின் அதை வெளியில் எடுத்துக் குளிரவைக்கவேண்டும். ஒரு நிறுத்துக் கடிகாரத்தை ஓடவிட்டு 30 வினாடிகளுக்கு ஒரு முறை பாளத்தின் வெப்பநிலையைக் குறைத்துக்கொண்டு வரவேண்டும். பாளத்தின் வெப்பநிலை T_2°யைவிட 10 டிகிரி குறையும்வரை இவ்வளவீடுகளைக் குறித்துக்கொண்டபின், ஒரு குளிர்வுக் கோடு வரைதல்வேண்டும். இவ் வரைகோட்டிலிருந்து T_2° வெப்ப நிலையில் வெப்பநிலை இழப்பு வீதம் R எனக் கணக்கிடப்படுகிறது. உலோகப்பாளத்தின் நிறை M கிராம் எனவும், அதன் வெப்ப எண் S எனவும் கொண்டால் T_2° வெப்நிலையில் உலோகப்பாளத்தினால் ஒருவினாடியில் இழக்கப்படும் வெப்பம் $= MSR$.

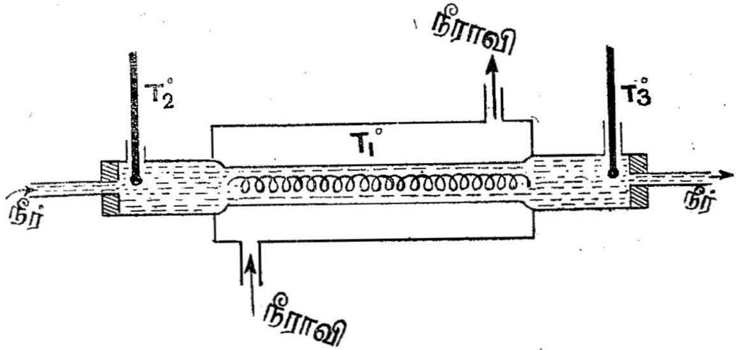
வெப்பக்கதிர்வீச்சினால் இழக்கப்படும் வெப்பம், வட்டுவழியே பாளத்துக்குக் கடத்தப்பட்ட வெப்பத்திற்குச் சமமாதலால்,

$$\frac{K \pi r^2 (T_1 - T_2)}{d} = MSR.$$

$$\therefore \quad K = \frac{MSR}{\pi r^2 \, (T_1 - T_2)/d}$$

எனவே K-யின் மதிப்பு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

கண்ணுடியின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் கணக்கிடல்: ஒரு நீண்ட கண்ணுடிக் குழாயைச் சுற்றி வெளியில் ஒரு நீராவி அறை உள்ளது. மாருத அழுத்த முகட்டில் இருந்து குழாயினுள் நீர் சீராகச் செலுத்தப்படுகிறது. நீரினை நன்கு கலக்க குழாயினுள் ஒரு கம்பிச்சுருள் உள்ளது. குழாயினுள் நுழையும் நீரின் வெப்ப



படம் 137, கண்ணுடியின் வெப்பக் கடத்துத் திறன்

நிலையையும், குழாயிலிருந்து வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் வெப்பநிலைமானிகளைக் கொண்டு அளவிடவேண்டும். நீராவி அறையினுள் நீராவி செலுத்தப்படுங்கால் கண்ணுடிச் சுவர்கள் வழியே குழாயினுள் கடத்தப்படும் வெப்பம் நீரை வெப்பப்படுத்துகிறது.

வெப்பநிலைகள் மாருதநிலையை அடைந்தவுடன் உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையையும் (T_2), வெளியேறும் நீரின் வெப்ப நிலையையும் (T_3) குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். நிறை அறியப்பட்ட ஒரு கண்ணுடி முகவையில் t விஞடிகளில் வெளியேறும் நீரைச் சேகரித்து நிறை கண்டுபிடிப்பதன் மூலம் ஒரு விஞடியில் வெளியேறும் நீரின் நிறையைக் (m) கணக்கிடலாம். நீராவியின் வெப்பநிலையை $T_1°$ எனவும், கண்ணுடிக்குழாயின் வெளி ஆரம், உள் ஆரத்தை முறையே r_1, r_2 எனவும், நீராவி அறையின் நீளத்தை l எனவும் கொள்வோம். இப்பொழுது 1 விஞடியில் கடத்தப்படும் வெப்பம்.

$$Q = \frac{K\, 2\pi r l \left(T^1 - \frac{T_2 + T_3}{2}\right)}{r_1 - r_2} = m\,(T_3 - T_2)$$

$$K = \frac{m\,(T_3 - T_2)\,(r_1 - r_2)}{2\pi r l \left(T_1 - \frac{T_2 + T_3}{2}\right)}$$

K என்பது கண்ணுடியின் வெப்பக்கடத்துத்திறனுகும்.

$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$. அதாவது சராசரி ஆரமாகும்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து கண்ணுடியின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் கணக்கிடலாம்.

வெப்பக்கடத்தலும், நீர்நிலைகள் உறைதலும் (Conductivity And Freezing of Ponds): ஒரு நீர்நிலை உறையத்துவங்கும் பொழுது உருவாகும் பனிக்கட்டி நீரின் மேலே மிதக்கின்றது என்பது நமக்கு தெரிந்ததொன்று. நீர்நிலையின் மேற்பரப்பு முதலில் உறைவடைதல் வேண்டும். வளிமண்டலத்தின் வெப்பநிலை $0°C$க்குக் கீழேயும் குறைவதால், நீர்நிலைகளின் மேற்பரப்புகளில் முதலில் பனிக்கட்டி உண்டாகிறது. இப் பனிக்கட்டி வழியே, அதன் கீழுள்ள நீரிலிருந்து மேலேயுள்ள காற்றுக்கு வெப்பம் கடத்தப்படுவதால், பனிக்கட்டியின் தடிப்பு தொடர்ந்து அதிகமாகிறது. இந் நிலையில், பனிக்கட்டியின் தடிமம் உயரும் வீதத்தைக் கணக்கிடுவோம்.

$0°C$ வெப்பநிலையில், பனிக்கட்டியின் அடர்த்தி P எனவும், அதன் வெப்பக்கடத்துத் திறனை K எனவும் கொள்வோம். $0°C$ வெப்பநிலையில் பனிக்கட்டியின் மேலேயுள்ள காற்றின் வெப்பநிலை நிலையாக உள்ளது என்க. ஒரு குறிப்பிட்ட தருணத்தில் (t) பனிக்கட்டியின் தடிப்பு x என்க. நேரத்தில் dt அளவு மாறுதலடையும் பொழுது தடிப்பு dx அளவு உயர்வடைவதாகக் கொள்வோம். பனிக்கட்டியின் ஓரலகுப் பரப்பினைக் கருத்திற் கொள்வோமேயானல் dt அளவு நேரத்தில் உருவான பனிக்கட்டியின் நிறை ρdx ஆகும். இப் பரப்பின் வழியே கடத்தப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு $= L\rho dx$. பனிக்கட்டி உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L ஆகும்.

$$\therefore \text{ பனிக்கட்டி வழியே வெப்பம் கடத்தும் வீதம்} = L.\ \rho.\ \frac{dx}{dt}$$

பனிக்கட்டியின் கீழ்ப்பரப்பு $0°C$ வெப்பநிலையிலேயே உள்ளது எனக்கொள்வோமாயின், ஓரலகு பரப்பின் வழியே வெப்பம் கடத்தப்படும் வீதம்,

$$= K \times \text{ வெப்பநிலை வாட்டம்,}$$

$$= K \cdot \frac{\theta}{x}.$$

எனவே,

$$L\rho\ \frac{dx}{dt} = K\ \frac{\theta}{x}$$

$$xdx = \frac{K\theta}{L\rho}\, dt$$

தொகுநிகாணில்,

$$\int_{x_1}^{x_2} xdx = \frac{K\theta}{L\rho} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\frac{x_2^2 - x_1^2}{2} = \frac{K\theta}{L\rho}(t_2 - t_1)$$

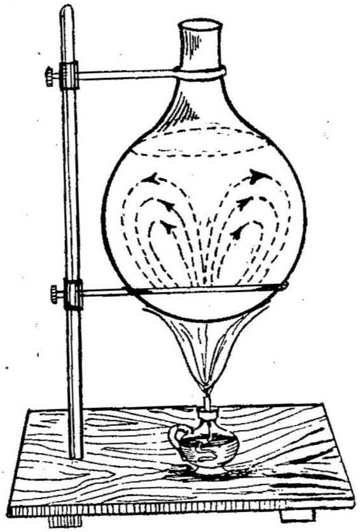
இச் சமன்பாட்டில் இருந்து கொடுக்கப்பட்ட கால இடை வெளியில், உருவாகும் பனிக்கட்டியின் தடிம உயர்வைக் கணக்கிட இயலும்.

பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படும் சில பொருள்களின் வெப்பக் கடத்துத் திறன்கள் கீழே உள்ள அட்டவணையில் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.

பொருள்	வெப்பக் கடத்துத்திறன் கலோரி/செ.மீ./வினாடி/°C
காற்று	0·000054
பித்தளை	0·26
அலுமினியம்	0·49
சிமெண்ட்	0.0007
தாமிரம்	0·91
தக்கை	0·00012
கான்கிரீட்	0·0003
பருத்தி	0·0005
கண்ணாடி	0·002
நீர்	0·0015
பாதரசம்	0·019
இரும்பு	0·18
பனிக்கட்டி	0·005
தங்கம்	0·70
மரம்	0·00035

(ii) வெப்பச்சலனம்
(Convection)

குடுவையில் சிறிது நீரை எடுத்துக்கொண்டு, அதில் கொஞ்சம் மரத்தூளைப் போட்டுப் படத்தில் காட்டியபடி



படம் 138. வெப்பச்சலனம்

அடியில் சூடாக்குவோம். சிறிது நேரத்திற்கெல்லாம் குடுவையின் அடியிலுள்ள நீர் மேலேயும், மேலே உள்ள நீர்க் கீழிறங்குவதையும் கண்ணுறலாம். அடியிலுள்ள நீர் சூடாக்குவதன் மூலம் பருமன் உயரும். எனவே அடர்த்தி குறைவுபடும். அடர்த்தி குறைந்த அணுக்கள் மேலே செல்லுகின்றன. மேலே உள்ள நீர்க் குளிர்ச்சியாக இருப்பதால் அங்குள்ள நீர் அணுக்களின் அடர்த்தி அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால் அவை கீழே செல்லுகின்றன. இவ்வாறு திரவ வாயுக்களுக்கு அடியில் வெப்பம் கொடுக்கப்படுமாயின், அப் பகுதி வெப்பநிலை உயர்வால் அடர்த்திக் குறைவதன் காரணமாக மேலே சென்று, அடர்த்தி அதிகமாக உள்ள மேற்பகுதி கிழிறங்கும். இவ்வாறு திரவ வாயுப்பொருள்கள் வெப்பமடையும் முறைக்கு வெப்பச் சலனம் என்று பெயர். பொதுவாக ஒரே பொருளில் உயர்ந்த வெப்பநிலை உள்ள பகுதியிலிருந்து, குறைந்த வெப்பநிலைப் பகுதிக்கு அப் பொருளின் அணுக்கள் இடம்பெயர்ந்து வெப்பம் பரவும் முறைக்கு வெப்பச்சலனம் என்று பெயர்.

வெப்பச்சலனத்தின் விளைவாக கடற்காற்றும், நிலக்காற்றும் (Sea Breeze and land Breeze) உண்டாகின்றன. கடற்கரை ஓரங்களிலுள்ள நிலப்பகுதிகள் பிற்பகலில் கடலைவிட அதிக வெப்ப நிலையில் இருப்பதால் நிலப்பகுதிக்கு மேலேயுள்ள காற்று வெப்பமடைந்து லேசாகி மேலே செல்கின்றது. கடல்மேலுள்ள அடர்த்தி அதிகமுள்ள குளிர்ந்த காற்று நிலத்தை நோக்கி வீசுகிறது. இதுவே கடல்காற்று ஆகும். இரவு நேரங்களில் கடல்நீர், நிலத்தைவிட அதிக வெப்பநிலையில் இருப்பதால் காற்று வெப்பமடைந்து லேசாகி மேலே செல்லும். நிலப்பகுதியின் மேலுள்ள குளிர்காற்று கடலை நோக்கி வீசும். இவ்வாறு வீசும் காற்று நிலக்காற்று எனப்படும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) ஒரு நீர்நிலையின்மேல் 20 செ. மீ. தடிப்புள்ள பனிக்கட்டிப் பாளம் உருவாகியுள்ளது. பாளத்தின் வெப்பநிலை $0°C$; மேற்தள வெப்பநிலை $-10°C$. பனிக்கட்டிப் பாளத்தின் வழியே வெப்பம் கடத்தப்படும் வீதத்தைக் கணக்கிடுக.

(பனிக்கட்டியின் வெப்பக் கடத்துத் திறன் $= 0{\cdot}004$).

பாளத்தின் தடிமம் X எனவும், அதன் இரு பரப்புகளிடையே உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாடு θ எனில் பாளத்தின் வழியே வெப்பங் கடத்தப்படும் வீதம்,

$$= K.\ \frac{\theta}{x}$$

அதாவது,

$$= 0{\cdot}004 \times \frac{10}{20}$$

$$= 0{\cdot}002 \text{ கலோரி/விநாடி.}$$

(2) ஒரு சதுர வடிவ தாமிரத்தகடு 15 செ.மீ. நீளமுள்ள பக்கத்தையும், $0{\cdot}5$ செ.மீ. தடிப்பையும் உடையது. அதன் இருபுறங்களும் முறையே $0°C$, $100°C$ வெப்பநிலைகளை உடையன. தகட்டின் வழியே ஒருமணி நேரத்திற்குக் கடத்தப்பட்ட வெப்பத் திறனைக் கணக்கிடுக. தாமிரத்தின் வெப்பக்கடத்துத் திறன் $0{\cdot}9$.

தகட்டின் நீளம் $=$ 15 செ.மீ.

∴ ஒரு பக்கத்தின் பரப்பு $= A = 15 \times 15 = 225$ ச.செ.மீ.

தகட்டின் தடிமம் $= d = 0 \cdot 5$ செ.மீ.

தகட்டின் இரு புறங்களுக்கும் இடையிலுள்ள வெப்பநிலை வேறுபாடு $\Big\} = \theta_1 - \theta_2 = 100°C$

வெப்பங்கடத்தப்படும் நேரம் $= 1 \times 60 \times 60$ விநாடிகள்

கடத்தப்பட்ட வெப்பம் $Q = K.A \dfrac{\theta_1 - \theta_2}{d}.t$

$$= 0 \cdot 9 \times 225 \times \frac{100}{0 \cdot 5} \times 3600$$

$$= 1 \cdot 457 \times 10^8 \text{ கலோரிகள்.}$$

(iii) வெப்பக் கதிர்வீசல்

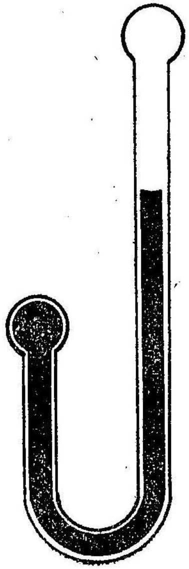
(Radiation of Heat)

ஒரு பொருளில் இருந்து மற்றொரு பொருளுக்கு ஊடகம் ஏதுமின்றி வெப்பம் பரவும் முறையை வெப்பக் கதிர்வீசல் என்றழைக்கிறோம். இம் முறையில் வெப்பம் பரவுங்காலை, பொருள்களுக்கு இடையே ஊடகம் இருப்பினும், அது சூடேற்றப்படாது. மேலும் வீசுகதிர் (Radiation) நேர்க் கோட்டுப் பரவலை (Rectilinear Probagation) உடையது. இக் கதிர்கள் ஒளியின் வேகத்தை உடையன. ஒளியைப் போலவே இக் கதிர்களையும் எதிரொளிக்கச் செய்யவோ, விலகலடையச் செய்யவோ இயலும். எனவே வீசு வெப்பக்கதிர்களும், ஒளிக் கதிர்களை ஒத்தவை.

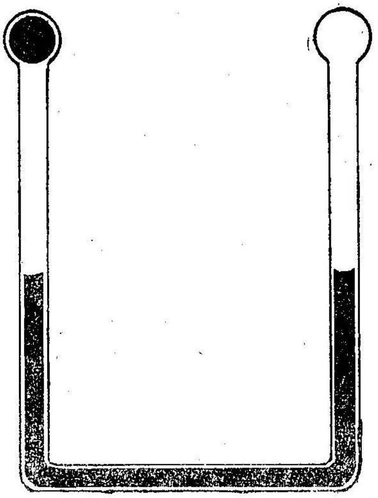
வீசு வெப்பத்தை அளிப்பதற்கான கருவிகள் (Instruments for the Measurement of thermai Radiation) : கண்ணுக்குப் புலப் படாத வீசு வெப்பக் கதிர்களைக் கண்டுபிடிக்க அவை உண்டாக்கும் பௌதிக மாற்றங்களையே அடிப்படையாகக் கொள் கின்றோம். திரவங்களிலும், வாயுக்களிலும் வீசு வெப்பத்தினால் ஏற்படும் பெருக்கமே அதையுணரப் போதுமானதாகும்.

ஈதர் தெர்மாஸ்கோப் (Ether Thermoscope) : இது வளைந்த கண்ணாடிக் குழாயினால் இணைக்கப்பட்ட இரு குமிழ்களை உடையது. குழாயில் ஈதரும், ஈதர் ஆவியும் உள்ளன. கீழ் மட்டத்தில் உள்ள குமிழ் கருமையாக்கப்பட்டு உள்ளது. இதன் மீது

வீசு வெப்பம்படும்பொழுது அது உட்கவரப்படுதலால், ஈதர் திரவத்தின் பருமன் பெருக்கமடைகிறது. இத் திரவமட்டம் எவ்வளவு உயரம் மேலேறுகிறது என்பதை அறிவதிலிருந்து வீசுவெப்பத்தின் செறிவைக் கண்டறியலாம்.



படம் 139.
ஈதர் தெர்மாஸ்கோப்

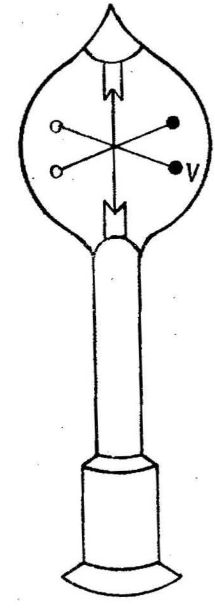


படம் 140.
பகுகாற்று வெப்பநிலைமானி

பகுகாற்று வெப்பநிலைமானி (Differential Air Thermometer): இக் கருவியிலும் U வடிவக் கண்ணாடிக் குழாய் இரு குமிழ்களை இணைக்கின்றது. குழாயினுள் கந்தக அமிலம் அழுத்தமானித் திரவமாகப் பயன்படுகிறது. திரவத்துக்கு மேலே காற்று அடைக்கப்பட்டுள்ளது. கருமையாக்கப்பட்ட குமிழின்மேல் கதிர்கள் படும்பொழுது, அதிலுள்ள காற்றுப் பெருக்கம் அடைந்து திரவத்தை மறுபுயத்திற்குத் தள்ளும். திரவமட்டங்களின் வேறுபாட்டில் இருந்து வீசு வெப்பத்தின் செறிவு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

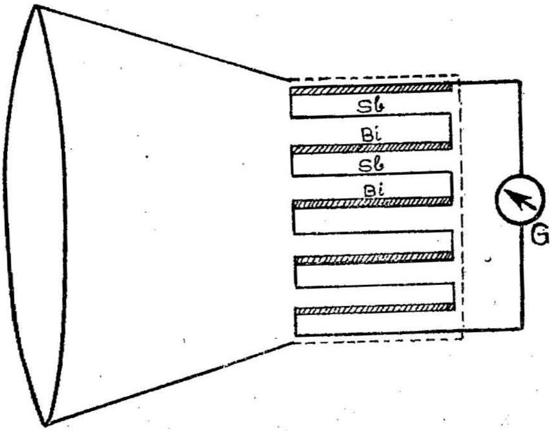
குருக் ரேடியோமீட்டர் (Crooke's Radiometer): காற்று நீக்கப்பட்ட குமிழ் ஒன்றினுள், ஓர் அச்சுச் செங்குத்தாகச் சுழலும் வண்ணம் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அச்சுடன் குறுக்காகப் பொருத்தப்பட்ட இரு மெல்லிய அலுமினியத் தகடுகளின் முனைகளில், தகரத்தாலான 4 மெல்லிய தகடுகள் காணப்படுகின்றன. இத் தகடுகளைச் சுற்றுவரிசையில், கவனிக்கும்பொழுது, அவைகளின் முன்பக்கங்கள் மெருகேற்றப்பட்டும், பின்பக்கங்கள்

கரும்பூச்சுப் பூசப்பட்டும் உள்ளன. கருமையான பரப்பு அதிக வெப்பத்தை ஏற்பதால், அதன்மேல் செயலாற்றும் அழுத்தம், மற்றதன் மேல் செயற்படும் அழுத்தத்தை விட அதிகம். இதன் விளைவாகச் சுழற்று விளைவு உண்டாகி, தண்டு அச்சைப் பற்றி சுழற்றப்படுகிறது. தண்டுகளும் தகடுகளும் சுற்றும் வேகத்திலிருந்து வீசுவெப்பத்தின் செறிவைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.



படம் 141, குருக்ரேடியோ மீட்டர்

வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு (Thermo-pile): மாறுபட்ட இரு உலோகங்களினலான ஒரு மின்சுற்றின் இரு சந்திகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருந்தால் அச் சுற்றில் மின்னேட்டம் நிகழும் என்பதைச் சீபெக் (Seebeck) கண்டுணர்ந்தார் என்று முன்பே கூறினேம். மெல்லோனி (Melloni) என்பார் வெப்பமின் இரட்டைகளைத் தொடரிணைப்பு முறையில் சேர்த்து வெப்பமின்இரட்டை அடுக்கு என்னும் கருவியை உருவாக்கி வீசுவெப்பத்தை அளந்தறிந்தார். கனசதுர வடிவத்தில் அமைக்கப்பட்ட ஆன்ட்டிமனி-பிஸ்மத் ஆகிய உலோகங்களாலான வெப்பமின் இரட்டை

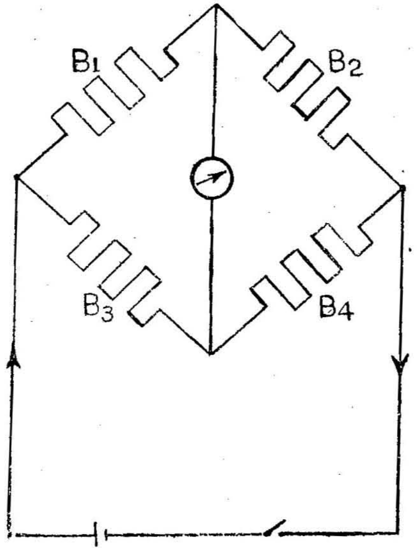


படம் 142. வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு

அடுக்கு ஒன்றில் சுடுசந்திகள் ஒரு புறமாகவும், குளிர் சந்திகள் மறுபுறமாகவும் உள்ளன. வீசு வெப்பத்தை நிறைய உட்கவர்தல்

பொருட்டு, சுடுசந்திகள் கருமையாக்கப்பட்டு உள்ளன. வீசு வெப்பம் மட்டும் இவைகளின் மேல் விழவும், வேண்டாத வெப்பம் இவற்றின் மேல் விழாமல் தவிர்க்கவும் ஒரு புனல் வடிவ அமைப்புப் பொருத்தப்பட்டு இருக்கும். வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கின் முனைகள் ஒரு நுட்பம் வாய்ந்த கால்வனுமீட்டருடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. கருமையாக்கப்பட்ட சந்திகளின் மேல் விழும் வீசு வெப்பத்தின் செறிவுக்கு ஏற்பக் கால்வனுமீட்டரில் விலகல் ஏற்படும்.

போலாமீட்டர் (Bolometer): ஒரு பிளாட்டினத் தகட்டின் மேல் வெப்ப ஆற்றல் படுங்காலை, அதன் மின்தடை அதிகரிக்கும் என்னும் உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டு லாங்லீ

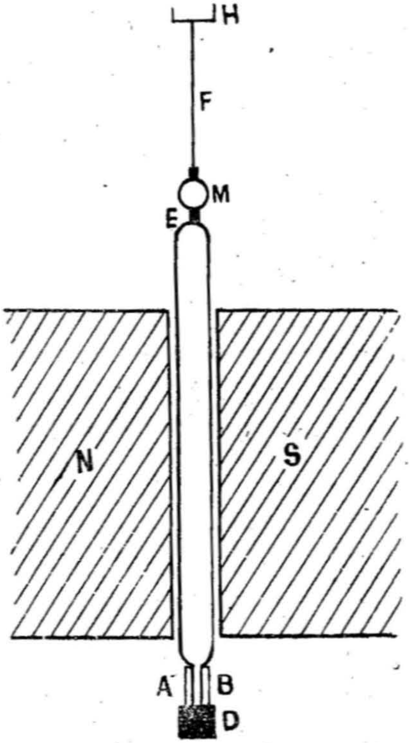


படம் 143 போலாமீட்டர்

(Langley) என்பார் 1881ஆம் ஆண்டு வீசுவெப்பத்தை அளவிட இக் கருவியை உருவாக்கினுர். இதனை 1892ஆம் ஆண்டு லம்மர், குர்ல்ஃபாம் (Lummer And Kurlbaum) என்பவர்கள் சீர்திருத்தி அமைத்தார்கள். இக் கருவியில் பிளாட்டினத்தால் ஆகிய 4 மிக மெல்லிய வலைத்தகடுகள் B_1, B_2, B_3, B_4 ஒரு வீட்ஸ்டன் சுற்றமைப்பின் புயங்களில் இணைக்கப்பட்டு உள்ளன. இத் தகடுகள் அனைத்தும் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளன. துவக்கத்தில் 4 தகடுகளும், ஒரே மின் தடையை உடையனவாதலால் கால்வனுமீட்டரில் குறிமுள் விலகலடையாது. பின்னர் வீசுவெப்பக் கதிர்கள் எதிரெதிர்த்

தகடுகளான B_1, B_4 ஆகியவைகளின் மேல் விழும்வண்ணம் செய்யப்படுகிறது. மற்ற இரு தகடுகளின் மேலும் வெப்பம் விழாதவாறு, அவை மூடப்பட்டு உள்ளன. B_1, B_4 ஆகிய தகடுகளின் மின்தடை மாற்றத்தால் சமனச் சுற்றின் சமநிலை சீர்குலைந்து, கால்வனுமீட்டரில் குறிமுள் விலக்கம் அடையும். இந்த விலக்கத்தைக் கொண்டு வீசுவெப்பத்தின் வலிமையை அறியலாம்.

பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர்: வீசு வெப்பத்தின் செறிவை அளக்க, மிக நுண்ணியமான கருவி, பாய்ஸ் (Boys) என்பார் உருவாக்கிய ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர் ஆகும். இக் கருவி இரு சிறிய தகடுகளை உடையது. அவற்றில் ஒன்று ஆன்ட்டி



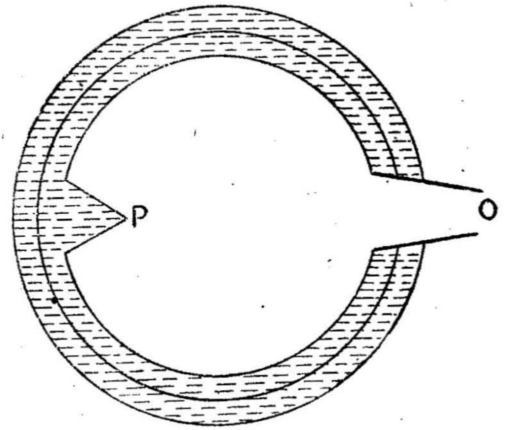
படம் 144. பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர்

மனியாலும், மற்றொன்று பிஸ்மத்தாலும் ஆனது. அவற்றின் கீழ் முனைகள், கருமையாக்கப்பட்ட ஒரு செப்புத் தகட்டுடன் பிணைக்கப் பட்டு உள்ளன. தகடுகளின் மேல் முனைகள் ஒரே சுற்றைக் கொண்ட நீளமான கம்பிச்சுருளின் முனைகளுடன் இணைக்கப்

படுகின்றன. இச் சுருள், ஒரு சக்தி வாய்ந்த காந்தத்தின் இரு துருவங்களுக்கிடையே மெல்லிய குவார்ட்ஸ் இழை மூலமாகத் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. குவார்ட்ஸ் இழையில் ஒரு சிறு ஆடிப் பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்படுகின்ற ஒளிக்கற்றை ஓர் அளவுகோலின் மேல் விழுமாறு அமைக்கப்பட்டு இருக்கிறது.

வீசுவெப்பம் செப்புத் தகட்டின்மேல் விழும்பொழுது ஆன்ட்டி மனி-பிஸ்மத் வெப்ப இரட்டையின் இரு சந்திகளிடையே வெப்பநிலை வேறுபாடு உருவாகின்றது. இதனால் கம்பிச்சுருளில் மின்னோட்டம் ஏற்படுகின்றது. எனவே காந்தப்புலத்தில் உள்ள கம்பிச்சுருள் சுழற்றப்படுகிறது. ஆனால் இச் சுழற்சியைக் குவார்ட்ஸ் இழையில் ஏற்படும் முறுக்கம் எதிர்த்தலின் விளைவாக, இழை விலகலடையும். இந்த விலகலை, ஆடியின் மேல் பட்டு எதிரொளிக்கப்பட்டு அளவுகோலின்மேற் படும் ஒளிக்கற்றையின் நிலையிலிருந்து நுட்பமாக அளந்து கொள்ள முடியும். இந்த விலக்கம் வீசுவெப்பத்தின் செறிவைப் பொருத்ததாகும்.

கரும்பொருள் (Black Body) : பரிசோதனைகளுக்குக் கருமையாக்கப்பட்ட தளங்களையே கரும்பொருளாகப் பயன்படுத்துகிறோம். ஆனால் இவை சிறந்த கரும்பொருள்கள் அல்ல. தன் மேல் விழும் வீசுவெப்பம் முழுவதையும் உட்கவரும் தன்மையை உடைய



படம் 145, கரும்பொருள்

பொருளே கரும்பொருள் ஆகும். ஃபெர்ரி (Fery) அத்தகையதொரு கரும்பொருளை உருவாக்கினார். ஃபெர்ரியின் கரும்பொருள் இரு சுவர்களை உடைய உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட ஒரு கோளமாகும்.

கோளத்தின் உட்புறம் நன்கு கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் வெளிப்புறம் நிக்கலால் நன்கு மெருகேற்றப்பட்டு இருக்கும். சுவர்களுக்கு இடையேயுள்ள பகுதி வெற்றிடம் ஆகும். ஆகையால் வெப்பக் கடத்தல், வெப்பச்சலனம் ஆகிய முறைகளில் ஏற்படும் வெப்ப இழப்பு தவிர்க்கப்படுகிறது. வீசுவெப்பம் ஒரு சிறு துளையின் வழியே கோளத்தினுள் நுழைகிறது. அங்கு அது பன்முறை எதிரொளிக்கப் பெறுவதால் வீசுவெப்பம் முழுமையாக உட்கவரப் படுகிறது. மேலும் துளைக்கு நேராக உட்புறம் ஒரு கூம்புவடிவக் குமிழ் அமைப்பு இருப்பதால், கதிர் நேர்க்குத்தாகக் கோளத்தின் உட்புறம் விழுவது தவிர்க்கப்படுகிறது.

ப்ரிவோஸ்ட் பரிமாற்றுக் கொள்கை (Prevost's Theory of Exchanges): கதிர்வீச்சினுல் வெப்பம் பரவும் முறையைக் குறித்து மிக உபயோகமான எளிமையான கருத்தினை 1792ஆம் ஆண்டு ப்ரிவோஸ்ட் என்பவர் அறிவித்தார். ஒரு பொருளில் இருந்து வெளிச் செல்லும் வீசுவெப்பம், அதைச் சுற்றிப் பொருட்கள் இருத்தலால் பாதிக்கப்படுவதில்லையாதலால், தனிச்சுழி வெப்ப நிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள எல்லாப் பொருள்களும், வீசுவெப்பத் திறனைக் கொடுக்கின்றன. மேலும் ஒரு பொருளில் ஏற்படும் வெப்பநிலை உயர்வோ, அல்லது தாழ்வோ அப் பொருளுக்கும், சுற்றுப்புற பொருள்களுக்கும் இடையே உண்டாகும் வீசுவெப்பப் பரிமாற்றுதலின் விளைவினுல் ஏற்படுகிறது. உதாரணமாக ஒரு சூடான பொருள் சுற்றுப் புறச் சுழல்களில் இருந்து தான் பெறுகின்ற வெப்பத்தைவிட, சுற்றுப்புறத்திற்கு அதிக வெப்பத்தை அளிக்கும். எனினும் ஒரு பொருள், சுற்றுப்புறப் பொருள்களோடு வெப்பச் சமநிலையில் இருக்கும்பொழுது, குறிப்பிட்ட நேரத்தில் எவ்வளவு வெப்பத்தைப் பெறுகிறதோ அவ்வளவு வெப்பத்தை வெளியில் கொடுக்கும். இதுவே ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கையாகும்.

சுழி வெப்பநிலைக்கு உயர்ந்த வெப்பநிலையில் ஒரு பொருள் இருக்குமேயானுல், அப் பொருளின் மூலக்கூறுகள் இயக்கத்தை உடையவனவாக இருக்கும்; இயக்கத்தை உடைய மூலக்கூறுகள் வீசுவெப்பத்தைத் தொடர்ந்து அளிக்கும் என்ற கருத்துக்கு ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கை ஒத்து இருப்பதால், இது உண்மை என்று கொள்ளப்படுகிறது.

ஸ்டீபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதி (Stefan-Boltzmann law): கரும் பொருளில் இருந்து வெளி வரும் வீசுவெப்பத்தைக் குறித்து முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒரு விதியை 1879ஆம் ஆண்டு ஸ்டீஃபன்

என்பவர் நிறுவினர். போல்ட்ஸ்மன் என்பவர், 1884ஆம் ஆண்டு வெப்ப இயக்கத் தத்துவங்களைக் கொண்டு ஸ்டீஃபனின் கொள்கையைத் தெளிவுபடுத்தினர்.

அவ் விதியாவது,

"ஓர்உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள ஓரலகு பரப்புடைய ஒரு முழுக் கரும்பொருள், ஒரு விநாடிக்கு வெளியேற்றும் வீசு வெப்பத்தின் மொத்த அளவு, அப் பொருளின் தனி வெப்பநிலையின், நான்காவது மடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது."

ஒரு கரும்பொருள் $T°A$ வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது ஒரு விநாடிக்கு, அப் பொருளின் ஓரலகு பரப்பில் இருந்து E ஆற்றலுடைய வெப்பம், கதிர்வீச்சு முறையில் வெளியேறுமாயின்,

$$E \propto T^4$$

அல்லது $E = \sigma T^4$

இதை வீசுவெப்பத்தின் ஸ்டீஃபன் விதி என்கிறோம். σ என்பது ஸ்டீஃபன் மாறிலி என்றழைக்கப்படும்.

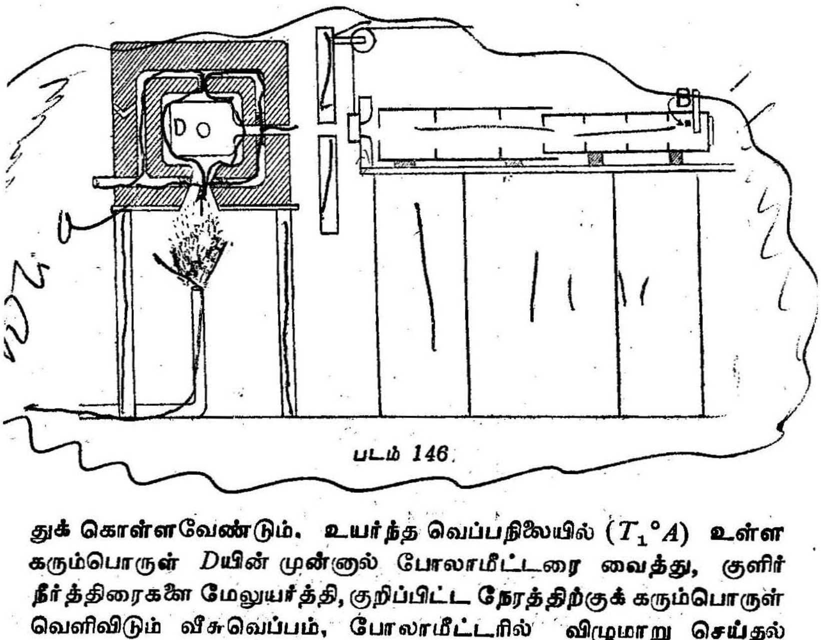
$T_1°A$ வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு கரும்பொருள் $T_2°A$ வெப்ப நிலையையுடைய சுற்றுப்புறச் சூழல்களில் வைக்கப்பட்டால், அப் பொருளின் ஓரலகு பரப்பிலிருந்து ஒரு விநாடிக்கு இழக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்ப ஆற்றல்,

$$E = \sigma (T_1^4 - T_2^4).$$

ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதியைச் சோதனை மூலம் மெய்ப்பித்தல்: ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதியை, படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமைந்த உபகரணத்தின் உதவியால், லம்மர், பிரிங்ஷீம் (Lummer And Primgsheim) என்பவர்கள் மெய்ப்பித்தனர். உட்புறம் பிளாட்டினக்கருமை பூசப்பெற்ற இரும்பு உருளையே இவர்களது கரும்பொருளாகும். 200°C வெப்ப நிலை முதல் 600°C வெப்பநிலை வரை, இடைப்பட்ட வெப்பநிலைகட்கு உருக்கப்பட்ட சோடியம், பொட்டாஷியம் நைட்ரேட்டுகளின் கலவையைக் கொண்ட தொட்டியில், இக் கரும்பொருளை வைத்துச் சூடேற்றினர்கள். 900°C முதல் 1300°C வெப்பநிலைவரை இக் கரும் பொருளை, இரட்டைச் சுவற்றை உடைய வாயு உலையில் வைத்துச் சூடேற்ற வேண்டும். கரும்பொருளின் வெப்பநிலை, வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியால் அளவிடப்படுகிறது. லம்மர், குர்ள்பாம்

(Lummer and Kurlbaum) என்பவர்களால் உருவாக்கப்பட்ட போலாமீட்டரைப் பயன்படுத்தி வீசு வெப்பத்தின் செறிவு, கணக்கிட்டறியப்பட்டது. தேவையில்லாதபொழுது, வீசு வெப்பத்தைத்தடுப்பதற்கு, நீரால் குளிர்விக்கப்பெறும் திரைகள் பல உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன.

$100°C$ வெப்பநிலையை உடைய ஃபெர்ரி கரும்பொருளின் முன் 633 மி.மீ. தொலைவில் போலாமீட்டரை வைத்து, அதன் அளவீடுகளைப் பன்முறை கவனித்து, உரிய திருத்தங்களைச் சேர்த்



படம் 146.

துக் கொள்ளவேண்டும். உயர்ந்த வெப்பநிலையில் ($T_1°A$) உள்ள கரும்பொருள் Dயின் முன்னால் போலாமீட்டரை வைத்து, குளிர் நீர்த்திரைகளை மேலுயர்த்தி, குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குக் கரும்பொருள் வெளிவிடும் வீசுவெப்பம், போலாமீட்டரில் விழுமாறு செய்தல் வேண்டும். போலாமீட்டர் சமனச்சுற்றில் உள்ள கால்வனுமீட்டர் காட்டும் பெரும விலகலை 'd' (வீசுவெப்பத்தின் செறிவு) எனக் கொள்ளலாம். போலாமீட்டரில் உள்ள குளிர்நீர்த்திரைகளின் வெப்பநிலையை T_2 எனக் கொள்க. கரும்பொருளின் வெப்பநிலையை மாற்றியமைத்துப் பரிசோதனையைத் திரும்பச் செய்தலின் விளைவாக,

$$d = a\,(T_1^4 - T_2^4)$$

என்ற சமன்பாட்டை நிறுவுதல் இயலும். இதில் a-யின் மதிப்பு ஒரு மாறிலியாக உள்ளதால், ஸ்டீஃபன் விதி மெய்ப்பிக்கப் படுகிறது.

நியூட்டனின் குளிர்தல் விதி (Newton's Law of Cooling): வெப்பக் கதிர்வீச்சினுல், ஒரு பொருள் குளிரும் வீதம் பொருளின் வெப்பநிலைக்கும், சுற்றுப்புறங்களின் வெப்பநிலைக்கும் இடையேயுள்ள வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் என்பது நியூட்டனின் குளிர்தல் விதியாகும். சுற்றுப்புற வெப்பநிலையில் இருந்து சற்றே உயர்ந்த வெப்பநிலையில் ஒரு பொருள் இருக்குங்காலை, நியூட்டனின் விதியை, ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதியிலிருந்து பெற இயலும்.

$T°A$ வெப்பநிலையிலுள்ள அறையினுள் $(T+dT)°A$ வெப்பநிலையைக்கொண்ட ஒரு பொருள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப் பொருளின் ஒவ்வொரு அலகு பரப்பும் சுற்றுப்புறத்திற்கு $\sigma\,(T+dT)^4$ கலோரி/வினடி அளவுள்ள வெப்பத்தைக் கொடுக்கும். பதிலாக, சுற்றுப்புறத்தில் இருந்து $\sigma\,T^4$ கலோரி/வினடி அளவுள்ள வெப்பத்தைப் பெறும். எனவே கொடுக்கப்பட்ட பொருள், வினடிக்கு வெப்பத்தை இழக்கும் வீதம்.

$$= \sigma\,(T + dT)^4 - \sigma\,T^4$$

$$= \sigma\,T^4\left[+ \frac{dt}{T}\right]^4 - \sigma\,T^4$$

$$= \sigma\,T^4\left[1 + \frac{4\,dt}{t}\right]^4 - \sigma\,T^4$$

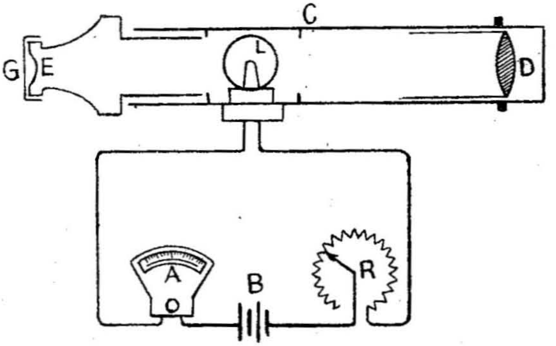
$$= 4\,\sigma\,T^3\;dT$$

எனவே வெப்பம் இழக்கப்படும் வீதம், பொருளின் வெப்பநிலைக்கும், அறையின் வெப்பநிலைக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டிற்கு (dT) நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இதுவே நியூட்டன் விதியாகும்.

கதிர்வீச்சுப் பைரோமீட்டர்கள் (Radiation Pyrometers): ஒரு பொருள் வெளிவிடும் வீசு வெப்பச் செறிவை அளந்தறிவதன் மூலமாக, அப் பொருளின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிட இயலும். இம் முறை மற்றெல்லா முறைகளையும் விட சிறப்புடையதென்பது, இம் முறையில் அளக்கப்பெறும் வெப்பநிலைக்கு உயர்வரம்பே கிடையாது என்னும் கொள்கையினுலாம். மேலும் வெகு தொலைவில் உள்ள பொருள்களின் வெப்பநிலைகளையும் அளக்க இயலும். வீசு வெப்பத்தின் விதிகளெல்லாம் முழுக் கரும்பொருள்களுக்கு மட்டுமே சாலவும் பொருந்தும். ஆனல் வெப்பத்தை வெளிவிடும் எல்லாப் பொருள்களுமே கரும்பொருளாக இருக்க

வேண்டும் என்பதில்லை. ஆகையால் இம் முறையில் அளவிடப் பெறும் வெப்பநிலை மதிப்புகள் உண்மை மதிப்பினைவிடச் சற்றுக் குறைவாகவே இருக்கும்.

மறையும் மின்னிழை பைரோமீட்டர் (Disappearing filament Pyrometer): இக் கருவி ஒரு தொலைநோக்கியை உடையது. அதன் குறுக்கிணைக் கம்பிகளுக்குப் பதிலாக, ஒரு மின் விளக்கின்

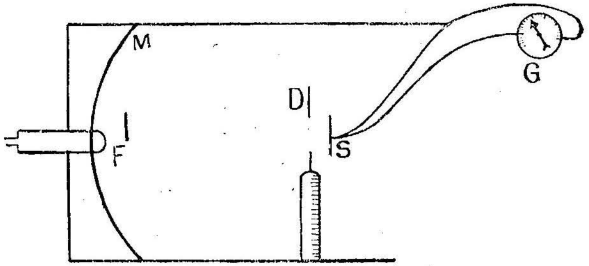


படம் 147. *மறையும் மின்னிழை பைரோமீட்டர்*

மின்னிழை வைக்கப்படு இருக்கும். தொலை நோக்கியின் பொருளருகு கருவி (Objective), சுடுபொருளின் பிம்பத்தை இம் மின்னிழையுடன் இணையுமாறு செய்கிறது. அம் மீட்டர், மின்கலத் தொகுப்பு (Battery), மின்தடைமாற்றி ஆகியவற்றுடன் தொடரிணைப்பில் இம் மின்னிழை இணைக்கப்பட்டு இருப்பதால் அதன் வழியே மின்சாரம் செலுத்தப்படுவதன் விளைவாக அது வெப்பப்படுத்தப்படுகிறது. தொலைநோக்கியின் கண்ணருகு கருவி வடிக்கட்டியுடன் (Eye piece) ஒரு சிவப்பு (Red Filter) பொருத்தப் பட்டுள்ளது.

சூடான மின்னிழையின் மேல் குவிக்கப்பட்ட சுடு பொருளின் பிம்பமும், சூடான மின்னிழையின் பிம்பமும், பிரித்துணர இயலாதவாறு ஒன்றோடொன்று இணையும்படி மின்தடைமாற்றியை சரி செய்ய வேண்டும். இரண்டும், ஓரலகு பரப்பிலிருந்து, ஒரு விநாடியில் சம அளவு செறிவுகளை உடைய வீசு வெப்பத்தைக் கொடுக்கின்றன என்பது இதன் பொருளாகும். எனவே இவ் விரண்டின் வெப்பநிலைகளும் சமம். தெரிந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருட்களை வைத்துச் சோதனை செய்வதன் மூலம், அம் மீட்டரின் வெவ்வேறு அளவீடுகளுக்கான வெப்பநிலைகளைத் தெரிந்து கொண்ட பின்னர் கொடுக்கப்பட்ட பொருளுக்கான அம்மீட்டர் அளவீடு காணப்பெறின், அப் பொருளின் வெப்பநிலையை நேரிடையாகவே அறிந்துகொள்ளலாம்.

ஃபெர்ரி முழுவீச்சு வெப்ப பைரோமீட்டர் (Ferry Radiation Pyrometer): இக் கருவி ஒரு பெரிய குழியாடியை உடையது. குழி ஆடியுடன் ஒரு கண்ணருகுக் கருவி பொருத்தப்பட்டு உள்ளது. சுடுபொருளில் இருந்து வெளிவரும் கதிர்கள், ஆடியினுல், D என்ற தளத்தின்மேல் குவிக்கப்படுகின்றன. இத் தளத்துக்குப்பின், கருமையாக்கப்பட்ட தகடு S ஒன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. வெப்பமின் இரட்டை ஒன்றின் சந்தி



படம் 148. ஃபெர்ரி பைரோமீட்டர்

இதனுடன் இணைக்கப்பட்டு இருக்கும். ஒரு நுட்பமான கால்வனு மீட்டர் இரட்டையில் உருவாகும் மின்னியக்கு விசையை அளவிடப் பயன்படுகிறது.

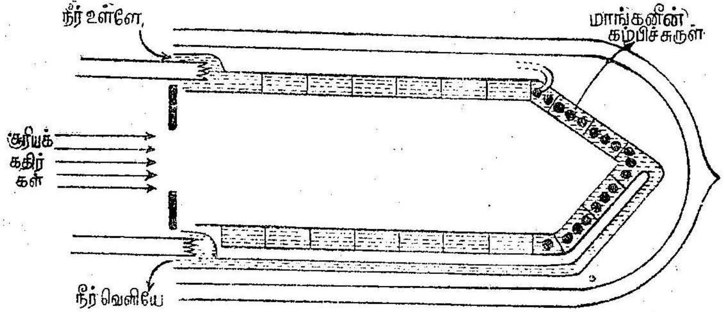
D-யின்மேல் உருவாகும் சுடுபொருளின் பிம்பத்தின் அளவு, துளையைவிட (aperture) பெரியதாக இருக்குமாயின், பொருள், கருவியினின்றும் வெகுதொலைவில் இருப்பினும் ஏதுமில்லை. ஏனெனில் பொருள் இருக்கும் தொலைவு அதிகமாயின், இருமடி விதியின்படி, ஆடியின்மேல் விழும் வீசு வெப்ப அளவு குறைவாகவே இருக்கும். எனவே பிம்பத்தின் அளவும் குறைவுபடும். ஆகையால் பிம்பத்தின் ஓரலகு பரப்பிலிருந்துவரும் வீசுவெப்பம் மாருததாகவும், Dயின் குறிப்பிட்ட பரப்பின் வழியே நுழையும் வீசுவெப்பம் மாருததாகவும் இருக்கும்.

கால்வனுமீட்டரில் ஏற்படும் விலகல் பொருளின் வெப்ப நிலையின் நான்காவது மடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். வேறுபட்ட, தெரிந்த வெப்பநிலைகளிலுள்ள கரும்பொருளின் உதவியால், வீசுவெப்பக் கதிர்களை S என்ற தகட்டின்மேல் விழுமாறு செய்து, கால்வனுமீட்டர் காட்டும் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். கால்வனுமீட்டரின் விலகல்களையும் பொருளின் வெப்பநிலைகளையும் தொடர்புபடுத்தி ஒரு வரைகோடு வரைதல் இயலும். கொடுக்கப்பட்ட, உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள

பொருளுக்கான கால்வனுமீட்டரின் விலகல் தெரியப்பெறுமாயின் வரைபடத்தின் மூலமாக, அப் பொருளின் வெப்பநிலையை நேரிடையாக உணரலாம்.

சூரிய மாறிலி (Solar Constant): சூரியமண்டலத்தின் நடுவில் அதன் உயிர்நாடியாக, சூரியன் அமைந்துள்ளது. அதனிடமிருந்து, வெப்பம் வெற்றிடத்தைக் கடந்து வெப்பக் கதிர்வீசல் முறையில் பூமியை அடைகிறது. வளிமண்டலத்தின் வழியாக, சூரியனிடமிருந்து வெப்பம் வருங்காலை அது எதிரொளிக்கப்படுகிறது; விலகல் அடைகிறது. மேலும் நீராவி, மேகம், தூசு ஆகியவற்றால் அது விரவப்படுகிறது. எனவே பூமியை வந்தடையும் வீசு வெப்பத்தின் அளவு மிகக் குறைவே; எனினும் இவ் வீசுவெப்பம் அளவிடப்பெறுமாயின், சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிட வாய்ப்புண்டு. சராசரிச் சூரிய நாளின் (Mean Solar Day) உச்சி வேளையில், சூரியனிடமிருந்து, புவியின் சராசரித் தொலைவில், வளிமண்டலத்துக்குச் சற்று வெளியே சூரியனின் கதிர்களுக்குச் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள ஓரலகு பரப்பினை உடைய ஒரு கரும்பொருள் ஒரு நிமிடத்தில் பெறும் சூரியனின் வீசுவெப்ப ஆற்றல் சூரிய மாறிலி எனப்படும்.

சூரியமாறிலியைக் கணக்கிடல். பைர் ஹீலியா மீட்டர் (Pyreheliometer): சூரியனின் வீசுவெப்ப ஆற்றலை அளவிட உபயோகமாகும் ஒரு கருவி பைர் ஹீலியா மீட்டராகும். சாதாரண



படம் 149, பைர் ஹீலியா மீட்டர்

மாகப் பயன்படுத்தப்பெறும் நீர்ப்பாய்ச்சுப் பைர் ஹீலியா மீட்டரின் (Water Flow Pyreheliometer) அமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது இரட்டைச் சுவர்களை உடைய சிலிண்டர் வடிவக் கலமாகும். இக் கலம் ஒரு வெற்றிட அறைக்குள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கலத்தின் ஒரு முனை கூம்புவடிவமாக இருக்கிறது.

கலத்தின் உட்புறம் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. சுவர்களின் இடைவெளியில் சீரான வேகத்தில் நீர் செலுத்தப்படுகிறது. கூம்புப் பகுதியில் சுவர்கட்கிடையில் ஒரு மாங்கனின் கம்பிச் சுருள் காணப்படுகின்றது. உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையையும், வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் கணக்கிட பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானிகள் உள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குச் சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்கள், ஓர் இடைத்திரையிலுள்ள சிறுதுளை வழியே பைர் ஹீலியா மீட்டரின் உட்பரப்பின்மேல் செங்குத்தாக விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொண்ட பின்னர், வீசுவெப்பக் கதிர்களைத் தடை செய்துவிடவேண்டும். மாங்கனின் கம்பிச்சுருள் வழியே குறிப்பிட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் (E), தேவையான அளவு மின் ஓட்டத்தை (C) செலுத்தி வெப்பநிலைமானியின் அளவீடுகள் முன்னிருந்த வெப்பநிலை உயர்வு மதிப்பீடுகளையே அடையுமாறு செய்யவேண்டும். அளிக்கப்பட்ட மின்னாற்றலில் இருந்து சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்களின் செறிவை அறியலாம். சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்களில் இருந்து ஒரு நிமிடத்தில் கிடைத்த வெப்பம் H எனில்,

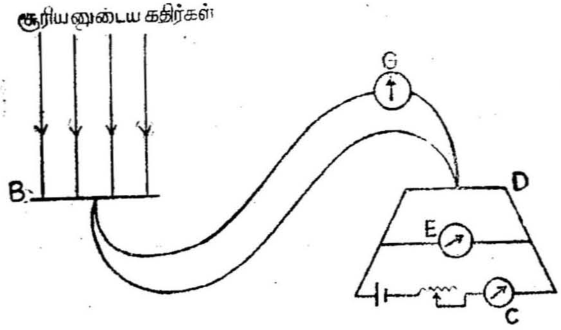
$$H = \frac{ECt}{J} = \frac{EC \times 60}{J} \text{ கலோரிகள்}$$

துளையின் பரப்பளவால் (A) இதை வகுப்போமாயின், ஓரலகு பரப்பின்மேல் ஒரு நிமிடத்தில் விழும் சூரியனின் வீசுவெப்ப ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பெறுகின்ற மதிப்புத் தோற்றச் சூரிய மாறிலி S எனப்படும்.

$$\therefore S = \frac{60EC}{JA} \text{ கலோரி/ச.செ.மீ./நிமிடம்}$$

ஆங்ஸ்ட்ராம் பைர் ஹீலியாமீட்டர் (Angstrom's Pyrheliometer) : ஆங்ஸ்ட்ராம் என்பவர், சூரியனின் வீசுவெப்ப ஆற்றலைக் கணக்கிட ஒரு தனி மாதிரியான பைர் ஹீலியாமீட்டரைப் பயன்படுத்தினர். இவ்வமைப்பில் கருமையாக்கப்பட்ட, இரு (B, D) உலோகத் தகடுகளில், ஒன்றின்மேல் சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்கள் வந்துவிழும். மற்றதன்மேல் அக் கதிர்கள் படாவண்ணம் அது மூடப்பட்டுள்ளது. இத் தகடு மின்னோட்டத்தின் மூலம் சூடேற்றப்படுகிறது. தாமிரம்-கான்ஸ்டன்டன் வெப்ப இரட்டையின் சந்திகளுடன் இத் தகடுகள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. முதல் தகடு (B) வீசுவெப்பக் கதிர்களைப் பெற்று வெப்பமடையும்.

இரண்டாம் தகடு (D) மின்னோட்டத்தினால் சூடேற்றப்படும். வெப்ப இரட்டையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள கால்வனாமீட்டரில் உள்ள குறிமுள் அசையாது இருக்குமேயானால் முதல் தகடு உட்கவர்ந்த சூரியனின் வீசுவெப்பச் செறிவும் இரண்டாம் தகட்டுக்கு அளிக்கப்பட்ட மின்னாற்றலும் சம மதிப்பை உடையன.



படம் 150. ஆங்ஸ்ட்ராம் பைர் ஹீலியா மீட்டர்

எனவே தோற்றச் சூரிய மாறிலியின் மதிப்பு அளவிட்டறியப் படுகிறது.

$$\text{அதாவது } S = \frac{60\, EC}{J\, A} \text{ கலோரி/ச.செ.மீ./நிமிடம்.}$$

உண்மைச் சூரிய மாறிலியைக் கணக்கிடுதல்: சூரியனின் உச்சிக்கோணம் (Zenith Angle) 'Z' எனவும், வளிமண்டலத்தின் செலுத்துகை எண் (Transmission Coefficient) 'a' எனவும், உண்மைச் சூரிய மாறிலி 'S_0' எனவும் கொண்டால்,

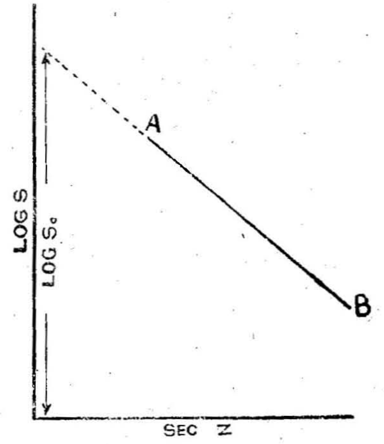
$$S = S_0\, a^{\text{Sec X}}$$

ஆகையால்,

$$\log S = \log S_0 + \sec Z \log.\, a$$

சூரியன் வெவ்வேறு உச்சிக்கோணங்களில் இருக்கும் பொழுது தோற்றச் சூரிய மாறிலியின் மதிப்பைக் கணக்கிட வேண்டும். பின் $Sec\ Z$-ன் மதிப்புகளை X அச்சிலும் $\log\ S$-ன் மதிப்புகளை Y அச்சிலும் கொண்டு ஒரு வரைப்படம் வரைய வேண்டும். அது ஒரு நேர்க்கோடாக அமையும். இவ் வரைப்படம் Y அச்சை எந்தப் புள்ளியில் சந்திக்குமோ, அதன் Y ஆயம்

$log\ S_0$ என்பதைக் கொடுக்கும். இதில் இருந்து உண்மைச் சூரிய மாறிலியின் மதிப்பைக் (S_0) கணக்கிடலாம். சூரியமாறிலியின்



படம் 151.

மதிப்பு 1·937 கலோரி/செ.மீ.^{2}/நிமிடம் அல்லது $8{\cdot}07 \times 10^7$ எர்க்/செ.மீ.^{2}/நிமிடம் என அறியப்பட்டது.

சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடுதல் (Temperature of the Sun): சூரியனின் ஓரலகு மேற்பரப்பிலிருந்து E அளவு வீசுவெப்பம் ஒரு வினாடியில் வெளிப்படுவதாகக் கொள்வோம். சூரியனின் ஆரம் r எனில் சூரியனின் மேற்பரப்பு முழுவதிலுமிருந்து ஒரு நிமிடத்தில் வெளிப்படும் மொத்த வீசுவெப்பம் $= 4\pi r^2 \times E \times 60$.

இவ் வீசுவெப்பம் முழுவதையும் பூமியின் சுற்றுப்பாதை ஆரத்தைக்கொண்ட கோளப்பரப்பு உட்கவருவதாகக் கொள்வோம். பூமியின் சுற்றுப்பாதை ஆரம் R எனில், ஒரு நிமிடத்தில் இக் கோள மேற்பரப்பு உட்கவர்ந்த வெப்பம் $= 4\pi R^2 \times S$. S என்பது சூரிய மாறிலி ஆகும்.

எனவே,

$$4\pi r^2 \times E \times 60 = 4\pi R^2 \times S$$

$$E = \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \frac{S}{60}$$

ஸ்டீஃபானின் விதிப்படி,

$$E = \sigma T^4$$

இச் சமன்பாட்டில் T, சூரியனின் தனி வெப்பநிலையாகும். எனவே,

$$T^4 = \left(\frac{R}{r}\right)^2 \times \frac{S}{\sigma} \times \frac{1}{60}$$

$$\text{அல்லது } T = \left[\frac{R^2}{r^2} \times \frac{S}{\sigma} \times \frac{1}{60}\right]^{1/4}$$

இச் சமன்பாட்டில் இருந்து சூரியனின் தளவெப்பநிலை T-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) கீழ்க்கண்ட மதிப்புகளிலிருந்து சூரியனின் பரப்பு வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக.

a. சூரிய மாறிலி $S = 1{\cdot}94$ கலோரி/செ.மீ./நிமிடம்.

b. ஸ்டீஃபன் மாறிலி $\sigma = 1{\cdot}37 \times 10^{-12}$ கலோரி/ச.செ.மீ./விஞடி.

c. சூரியனின் ஆரம் $r = 4{\cdot}33 \times 10^5$ மைல்கள்.

d. சூரியனுக்கும், பூமிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவும் $R = 9{\cdot}28 \times 10^7$ மைல்கள்.

சூரியனின் வெப்பநிலையை $T°A$ எனக் கொள்வோமேயானல்

$$T = \left[\frac{R^2}{r^2} \cdot \frac{S}{\sigma} \cdot \frac{1}{60}\right]^{1/4}$$

$$\left[\left(\frac{9{\cdot}28 \times 10^7}{4{\cdot}33 \times 10^5}\right)^2 \frac{1{\cdot}94}{1{\cdot}37 \times 10^{-12}} \cdot \frac{1}{60}\right]^{1/4}$$

$$= 5737°A$$

(2) ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை $1727°C$. அதன் ஓரலகு பரப்பிலிருந்து ஒரு செகண்டுக்கு வெளியேறும் வீசு வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக. ஸ்டீஃபன் மாறிலி $= 5{\cdot}7 \times 10^{-5}$ மெட்ரிக் அலகுகள்.

ஸ்டீஃபன் விதியின்படி, ஒரு விஞடிக்கு, ஒரு கம்பிப் பொருளின் ஓரலகு பரப்பிலிருந்து வெளியேறும் வெப்பம் (E) அப் பொருளின் தனி வெப்பநிலையின் ($T°A$) நான்காவது மடிக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. அதாவது,

$$E = \sigma T^4$$

$$\text{பொருளின் வெப்பநிலை} = 1727°C$$
$$= (1727 + 273)°A = 2000°A$$

$$\therefore \text{வெளிவிடப்பட்ட வீசுவெப்பம்} = 5{\cdot}7 \times 10^{-5} \times 2000^4$$
$$= 9{\cdot}118 \times 10^8 \text{ கலோரிகள்.}$$

ஒலியியல்

1. அறிமுகம்

(Introduction)

பொருள்களின் அதிர்வால் உண்டாகும் ஒலியும் ஒருவகை ஆற்றல் ஆகும். செவியுணர்வு இவ் வகை ஆற்றலால்தான் உண்டாகிறது. ஒரு பொருள் அதிர்வுற்று ஒலி எழுப்புகையில் வினாடிக்கு எத்தனை முழு அலைவுகளைச் செய்து முடிக்கிறதோ அதுவே அவ்வொலியின் அதிர்வு எண் (Frequency) எனப்படும். இவ்வாறு பொருள்களின் அதிர்வால் உண்டாகும் ஒலி எல்லாவற்றையும் நம்மால் கேட்டுணர இயலாது. பொதுவாக இயல்பான காதுகளை உடையவர்களுக்கு வினாடிக்கு 20-க்குமேல் 20,000-க்குள் அதிர்வுறும் ஒலிகளை மட்டுமே கேட்க இயலும். இது செவியுணர் வரம்பு எனப்படும். மனிதனுக்கு மனிதன் இவ் வரம்பு சிறிது வேறுபடுவதுண்டு. ஒளி வெற்றிடத்தின் உள்ளும் ஊடுருவக்கூடிய ஒருவகை ஆற்றல். ஒலியும் ஒருவகை ஆற்றலேயாயினும் அது ஊடுருவிச் செல்ல ஓர் ஊடகம் தேவையாகும். இதனுல் ஒலி திட, திரவ, வாயுப் பொருள்களினூடேதான் செல்ல இயலுமே தவிர வெற்றிடத்தினுள் ஊடுருவ இயலாது. ஊடகப் பொருட்களின் வழியே ஒலி அலைவடிவில் செல்கிறது.

அலை இயக்கம் (Wave motion): ஓர் ஊடகத்தினுள் ஒலியொன்று பரவிச் செல்லும்போது ஊடகத் துகள்கள் அனைத்தும் ஒலியினுல் அசைவு பெறுகின்றன. முதல் துகள் இயங்கும்போது அதன் இயக்கம் ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளுக்கு வரிசைக் கிரமமாகப் பரவுகிறது. இறுதியில் எல்லாத் துகள்களும் இயக்கத்துடன் இருக்கின்றன. இவ்வாறு அதிர்வுகள் தொடர்ச்சியாக, மீள் தன்மையுள்ள ஊடகத்தில் ஒரு துகளிலிருந்து மறு துகளுக்குப் பரவுவதை அலை இயக்கம் என்கிறோம்.

அமைதியான நீர்நிலையில் கல் ஒன்றினை விழச் செய்தால், கல் விழும் இடத்திலுள்ள நீர்த்துளிகள் அதிர்வடைந்து, அதன் பேரில் அருகிலுள்ள துளிகளும் அதிர்வடைவதால் வட்ட அலைகள் உண்டாகுகின்றன. இப்போது நீரில் மிதக்கும் பொருள்களாகிய இலை, காகிதம் போன்றவைகளை நீரின்மேல் வைத்தால் அப் பொருள்கள் மேலும் கீழுமாகத்தான் அசையுமே தவிர பொருள்கள் நகர்ந்து செல்வது கிடையாது. இதனால் நீர்த்துளிகள் மேலும் கீழும்தான் அசைகின்றனவேயன்றி அலையோடு செல்வதில்லை என்பது புலனாகும்.

குறுக்கு அலைகளும், நெட்டலைகளும் (Transverse Waves And Longitudinal Waves): ஒலி அலைகள் பொதுவாக இரு வகைப்படும்.

(1) குறுக்கு அலைகள், (2) நெட்டலைகள்.

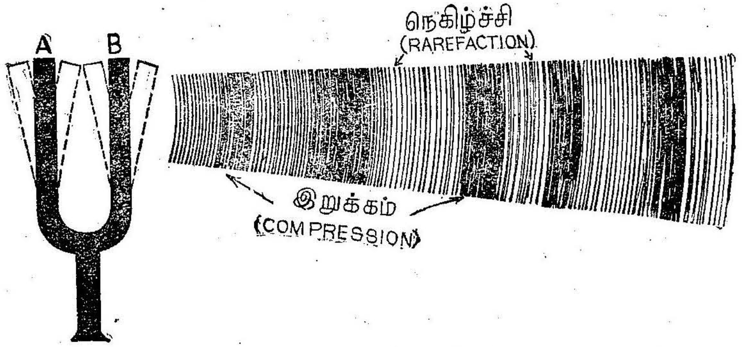
(1) குறுக்கு அலைகள்: ஊடகத்தின் துகள்கள் அலை பரவிச் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் அதிர்வுற்று அலை யாற்றலைப் பரவச் செய்தால் அந்த அலை குறுக்கு அலை (Transverse wave) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக நீர்ப்பரப்பில் உண்டாகும் அலைகளும், மீட்டப்பட்ட வீணைக்கம்பி வழியே செல்லும் அலைகளும் குறுக்கு அலைகளாகும். பொதுவாகக் குறுக்கு அலையொன்றின் $y = a \sin wt$ என்ற சமன் பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. a என்பது அலையின் பெரும வீச்சையும், wt என்பது கட்டத்தையும் (Phase) குறிக்கும்.

(2) நெட்டலைகள்: ஊடகத்தின் துகள்கள் அலை பரவிச் செல்லும் அதே திசையில் அதிர்வுற்று அலையாற்றலைப் பரவச் செய்தால் அந்த அலை நெட்டலை (Longitudinal wave) எனப்படும். உலோகத் தண்டில் பரவிச் செல்லும் ஒலி அலைகளும், காற்று அல்லது மற்ற வாயுக்களின் மூலம் செல்லும் ஒலி அலைகளும் நெட்டலைகளின் எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஒலி பரவும் முறை: முதலாவதாகக் குறுக்கலைகள் எவ்வாறு பரவிச் செல்கின்றன என்பதனைக் காண்போம். அமைதியான நீர்நிலையில் கல்லொன்றினை விழச் செய்தால் கல் விழும் இடத்தை மையமாகக் கொண்ட வட்ட அலைகள் தோன்றுகின்றன. அலைகள் மேடு, பள்ளங்களாகக் காட்சியளிக்கின்றன. இம் மேடுகள் முகடுகள் (Crests) என்றும், பள்ளங்கள் அகடுகள் (Troughs) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அதாவது மேல் நோக்கிய திசையில் மிகுந்த வீச்சுடன் அதிரும் துகள்களை முகடுகள் என்றும்,

கீழ் நோக்கிய திசையில் மிகுந்த வீச்சுடன் அதிரும் துகள்களை அகடுகள் என்றும் வரையறுக்கிறார்கள். எனவே குறுக்கலைகள் மாறி மாறி உண்டாகும் அகடு, முகடுகள் மூலம் பரவிச் செல்கின்றன என்பது புலனாகிறது.

இப்பொழுது ஓர் இசைக்கவையைக் காற்றில் அதிர்வூட்டச் செய்து அதன் ஒரு கரத்தினை மட்டும் கவனிப்போம். கரம், *A*, *B* இவைகளின் வீச்சு எல்லைகளைத் தொடர்ச்சியற்ற கோடுகள் குறிக்



படம் 152. நெட்டலைமூலம் ஒலிபரவல்

கின்றன. கரம் *B* அதிர்வு பெற்று வலப்புறம் செல்லும்போது அருகிலுள்ள காற்றுப் பகுதி நெருக்கமடைகிறது. அதனால் அப் பகுதியில் ஓர் இறுக்கம் (Compression) அல்லது நெருக்கம் உண்டாகிறது. இவ்வாறு இறுக்கமடைந்த காற்றுப் பகுதிவிரிவடைய முயல்வதால் அருகிலுள்ள காற்றுப் பகுதியை இறுக்கமடையச் செய்யும். இவ்வாறாக அடுத்தடுத்த காற்றுப் பகுதிகள் இறுக்கமடைகின்றன. பின்னர் இசைக்கவையின் கரம் வலப்புறத்திலிருந்து இடப்புறம் செல்கிறது. அப்பொழுது கரம் *B*-க்கு அருகிலுள்ள காற்றுப் பகுதியில் அழுத்தம் குறைவதால் அங்கு அடர் குறைப்பு (Rare faction) அல்லது நெகிழ்ச்சி நிலை ஏற்படுகிறது. இப் பகுதியை அடுத்துள்ள காற்றுப் பகுதிகள் அங்கு வர முயல்வதால் அருகிலுள்ள காற்றுப் பகுதிகளுக்கும் நெகிழ்ச்சிப் பரவுகிறது. இவ்வாறாக இசைக்கவையின் கரங்கள் அதிர்வுறும் போது இறுக்கமும், நெகிழ்ச்சியும் மாறி மாறி உண்டாகின்றன. இங்குக் காற்றுத் துகள்கள் அலை செல்லும் திசையிலேயே அதிர்வுறுவதால் இவ்வலை ஒரு நெட்டலையாகும். எனவே நெட்டலைகள் மாறி மாறி உண்டாகும் இறுக்கம், நெகிழ்ச்சி இவைகள் மூலம் பரவிச் செல்லுகின்றன என்பது தெரியவருகிறது.

அலை நீளம் (Wave length): ஒலி பரவிச் செல்லும் ஊடகத்தில் ஒரே அதிர்வு நிலையில் உள்ள அடுத்தடுத்த இரு துகள்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவு ஓர் அலையின் அலை நீளம் எனப்படும். குறுக்கலையில் அடுத்தடுத்த இரு முகடுகளுக்கும் அல்லது இரு அகடுகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு அலைநீளமாகும். நெட்டலையில் அடுத்தடுத்த இரு இறுக்கத்திற்கும் அல்லது இரு நெகிழ்ச்சிகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு அலைநீளமாகும்.

ஒலியின் திசைவேகம் (V), அதிர்வு எண் (n), அலைநீளம் (λ) —இவற்றின் தொடர்பு, அதாவது $V = n\lambda$ என்ற சமன்பாட்டை நிறுவுதல்: அலையின் அதிர்வெண் n என்பது ஒரு விநாடியில் ஏற்படும் அலைவுகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். அலைநீளம் λ என்பது ஓர் அலைவு நேரத்தில் அலை கடக்கக்கூடிய தொலைவாகும். இதனை ஒரே அதிர்வு நிலையில் உள்ள அடுத்தடுத்த இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு எனவும் கூறலாம்.

அலையின் திசைவேகம் V என்பது ஒரு விநாடியில் அலை செல்லக்கூடிய தொலைவாகும். 1 விநாடியில் உண்டாகும் மொத்த அலைவுகள் n ஆகும். ஓர் அலைவில் அலை கடந்து செல்லும் தொலைவு λ. இதனால் 1 விநாடியில் அதாவது n அலைவுகளினால் அலை செல்லக்கூடிய தொலைவு $= n\lambda$. எனவே திசைவேகத்தின் வரையறையின்படி $V = n\lambda$. இதுவே திசைவேகம் V, அதிர்வெண் n, அலை நீளம் λ இவைகளுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பாகும்.

2. முன்னேறு அலைகளும், நிலை அலைகளும்

(Progressive Waves and Stationary Waves)

முன்னேறு அலைகள்: ஊடகம் ஒன்றின் வழியாக ஒலி செல்லும் போது ஊடகத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு துகளும் நிலையான புள்ளி ஒன்றை மையமாகக் கொண்டு அதிருமே தவிர அலையினால் அடித்துக் கொண்டு போகப்படுவதில்லை என்று முன்னமே கண்டோம். ஒவ்வொரு துகளும் அடையும் நிலையைச் சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகே அடுத்த துகள் அந்நிலையை அடைகிறது. ஆனால் அவற்றின் வீச்சுகள் சமமாகவே இருக்கும். பொதுவாக இந்த அலைகள் ஒடுக்கப்படாமல் செல்லுகின்றன. இவ்வாறு ஊடக மொன்றில் ஒடுக்கப்படாமலும், தடுக்கப்படாமலும் செல்லும் அலைகளுக்கு முன்னேறு அலைகள் என்று பெயர். பொதுவாக $+x$ திசையில் செல்லும் ஒரு முன்னேறு அலை,

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. இங்கு a என்பது அலையின் பெரும வீச்சையும், v என்பது அலையின் வேகத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன.

நிலை அலைகள்: முன்னேறு ஒலி அலைகள் ஏதாவதொரு பொருளால் (Obstacle) தடைப்பட்டு எதிரொளித்தால் முன்னும் பின்னும் ஓடும் அலைகள் ஒன்றோடொன்று பொருந்துகின்றன. இவைதான் நிலையான அலைகளாகின்றன. இவ்வாறு இரு முன்னேறு அலைகள் அசையாமல் இருப்பது போன்ற தோற்றத்தை அளிப்பதால் அவை "நிலை அலைகள்" என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இந் நிலைகளில் சில துகள்கள் அதிர்விலா நிலையிலும், சில

துகள்கள் மற்றவைகளைவிட மிகுந்த வீச்சு அதிர்வுடனும் இருக்கும். இவ்வாறு அதிர்விலா நிலையிலுள்ள துகள்களைக் கணுக்கள் (Nodes) என்றும், மிகுந்த வீச்சுடன் அதிரும் துகள்களை எதிர்க்கணுக்கள் (Anti Nodes) என்றும் அழைக்கின்றனர். அடுத்தடுத்த இரு கணுக்கள் அல்லது இரு எதிர்க் கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு அரை அலை நீளமாகும். $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ அடுத்தடுத்துள்ள கணு ஒன்றுக்கும், எதிர்க்கணு ஒன்றுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு கால் அலைநீளம் ஆகும் $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$

எளிய அறிய முறை (Simple Theory): நிலை அலையொன்றின் சமன்பாட்டை எதிரெதிர்த் திசையில் செல்லும் இரு முன்னேறு அலைகளின் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம்.

$+x$ திசையில் செல்லும் ஒரு முன்னேறு அலையை

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$ என்ற சமன்பாட்டாலும்,

$-x$ திசையில் செல்லும் முன்னேறு அலையை,

$$y_2 = -a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$$ என்ற சமன்பாட்டாலும்

குறிக்கலாம்.

எனவே, நிலை அலையின் சமன்பாடு

$$Y = y_1 + y_2$$

அதாவது,

$$Y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) - a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$$

பொதுவாக

$$\sin A - \sin B = 2 \sin \frac{A - B}{2} \cos \frac{A + B}{2}$$

இவ் வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்,

$$Y = \left[-2a \sin \frac{2\pi}{\lambda} x\right] \cos \frac{2\pi}{\lambda} vt$$

இங்கு, $2a \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ என்பது நிலை அலையின் வீச்சைக் குறிக்கிறது. இது x-ன் மதிப்பைப் பொருத்தது.

கணுக்களில் வீச்சின் மதிப்புச் சுழியாகும். எனவே,

$$2a \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = 0.$$

$$2a \neq 0.$$

$$\therefore \sin \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$$

அதாவது

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, 3\pi \ldots\ldots$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} \quad k\pi \; (k = 0, 1, 2, 3\ldots\ldots)$$

$$\therefore x = \frac{k\pi\lambda}{2\pi} = k \frac{\lambda}{2}$$

$$(k = 0, 1, 2, 3 \ldots\ldots)$$

எனவே சுழிவீச்சையுடைய கணுக்கள்

$$x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2} \ldots$$

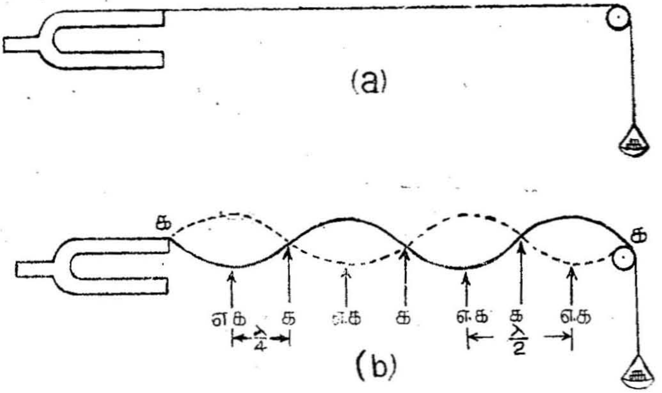
ஆகிய தொலைவுகளில் உள்ளன.

எனவே இரு அடுத்தடுத்துள்ள கணுக்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$

இதுபோலவே இரு அடுத்தடுத்துள்ள எதிர்க்கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு $= \frac{\lambda}{2}$ எனக் காட்டலாம்.

எனவே அடுத்தடுத்துள்ள கணு ஒன்றுக்கும், எதிர்க்கணு ஒன்றுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு கால் அலை நீளமாகும். $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$

மெல்லிய முறுக்கற்ற நூல் ஒன்றின் ஒரு முனையை ஓர் இசைக் கவையின் ஒரு கரத்துடனும் மறுமுனையை உராய்வற்ற கப்பியொன்றின் வழியே ஒரு தராசுத்தட்டுடனும் படத்தில் காட்டியவாறு இணைக்கவேண்டும். தட்டில் எடைகளைப் போட்டு நூலுக்குத் தேவையான இழுப்புவிசை தரப்படுகிறது. பின்னர் இசைக்



படம் 153· நிலை அலைகள்

கவையை அதிர்வுறச் செய்தால் நிலை அலைகள் உண்டாவதைக் காணலாம். இதற்குக் காரணம், கவையிலிருந்து நூலின் வழியே செல்லும் அலை, கப்பியில் எதிரொலிக்கப்பட்டு மீண்டும் நூலின் வழியே எதிர்த்திசையில் செல்வதேயாகும்.

இரு அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கு இடைப்பட்ட பகுதி ஒரு வளையம் என்றழைக்கப்படுகிறது.

3. இயல்பு அதிர்வு, திணிப்பதிர்வு, ஒத்திசை அதிர்வு விம்மல்கள்

(Natural Vibration, Forced Vibration, Resonant Vibration And Beats)

அதிர்வுறும் பொருளை அதிர்வுறச் செய்து, அதை அதன் இயல்புக்கு விட்டுவிட்டால் அது ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுடன் அதிர ஆரம்பிக்கும். இத்தகைய அதிர்வு இயல்பு அதிர்வு என்றும், அதன் அதிர்வு எண் இயல்பு அதிர்வு எண் (Natural Frequency) என்றும் கூறப்படுகின்றன.

அதிர்வுறும் பொருளொன்றின் அதிர்வுகளை மற்றொரு பொருளின் மீது செலுத்தி அப் பொருளும் அதிருமானால் இவைகள் திணிப்பதிர்வுகள் (Forced Vibration) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, அதிரூட்டப்பட்ட இசைக்கவையின் தண்டை மேசையின்மீது வைத்தால் மேசையில் ஏற்படும் அதிர்வுகள் திணிப்பதிர்வு ஆகும்.

அதிர்வுறும் பொருளின் அதிர்வெண்ணும், திணிப்பதிர்வினால் அதிர்வுறும் பொருளின் இயல்பு அதிர்வு எண்ணும் சமமானால் விளைவுச் செறிவு பெரும எல்லையை அடைந்து மிகுந்த ஒலியை உண்டாக்கும். இத்தகைய அதிர்வு ஒத்திசை அதிர்வு என்றும் இந் நிகழ்ச்சி ஒத்திசைவு (Resonance) என்றும் அழைக்கப் படுகின்றன.

ஒரு குழாயிலுள்ள காற்றுத்தம்பத்தின் இயல்பு அதிர்வெண் அதன் நீளத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் உடைய இசைக்கவை ஒன்றை ஒலித்து, ஒரு முனை நீரிலும், மறுமுனை காற்றிலும் உள்ள குழாயின் திறந்த வாய் அருகே பிடித்துக் கொண்டு குழாயிலுள்ள காற்றின் நீளத்தைத் தக்கவாறு மாற்றினால்

ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் பேரொலி கேட்கும். இப்போது குழாயிலுள்ள காற்றின் இயல்பு அதிர்வு எண், இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணிற்குச் சமமாக இருக்கும். இந் நிலையில் இசைக் கவையும், குழாயிலுள்ள காற்றும் ஒத்திசைவு நிலையில் உள்ளதாகக் கூறுகிறோம்.

விம்மல்கள் (Beats): கிட்டத்தட்ட சம அதிர்வு எண்களை உடைய இரு இசை ஒலிகள் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கப்படுமானால் ஏற்படும் விளைவுச் செறிவு ஏறி இறங்குவதைக் காணலாம். ஒலியின் செறிவில் காணும் மேற்கூறிய ஏற்ற இறக்கங்கள் விம்மல்கள் (Beats) எனப்படும். ஒரு வினாடியில் இவ்வாறு உண்டாகும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை அவ்விரு ஒலிகளின் அதிர்வு எண் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கும். எடுத்துக் காட்டாக 250, 256 அதிர்வு எண்களை உடைய இரு இசைக் கவைகள் ஒரே சமயத்தில் ஒலிக்கப்பட்டால் இதனால் விளைகின்ற விளைவுச் செறிவு வினாடிக்கு ஆறு முறைகள் ஏறி இறங்குவதைக் கேட்கலாம். பொதுவாக n_1, n_2 அதிர்வெண்களை உடைய இரு ஒலிகளுக்கிடையே ஒரு வினாடியில் உண்டாகும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை $\delta = n_1 \sim n_2$.

எளிய அறிமுறை (Simple Theory): இரு சீரிசை அலைகளின் வீச்சுகள் a எனவும், அதிர்வெண்களை முறையே n_1, n_2 எனவும் $n_1 - n_2$ வின் மதிப்பு மிகவும் குறைவு எனவும் கொண்டு அவ்விரு அலைகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$y_1 = a \sin w_1 t = a \sin 2\pi\, n_1 t$$

$$y_2 = a \sin w_2 t = a \sin 2\pi\, n_2 t$$

ஏதாவது ஒரு நேரத்தில் இவ்விரு அலைகளின் தொகுபயன்

$$\begin{aligned} Y &= y_1 + y_2 \\ &= a \sin 2\pi\, n_1 t + a \sin 2\pi\, n_2 t \end{aligned}$$

பொதுவாக

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

எனவே

$$Y = a \left[2 \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right) t . \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) \right] t$$

$$= 2a \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t. \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) t$$

$$\therefore Y A \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) t.$$

இந்தச் சீரிசை அலையின் வீச்சு

$$A = 2a \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t.$$

$$\text{அதிர்வெண்} = \frac{n_1 - n_2}{2}$$

வீச்சு A ஒரு மாறிலியாக இல்லாமல் நேரம் t-யோடு மாற்றமடைகிறது. வீச்சின் பெருமமதிப்பு $2a$ ஆகவும் சிறும மதிப்பு 0 ஆகவும் உள்ளன. அவ்வாறு வீச்சில் மாற்றங்கள் உண்டாவதால்தான் விம்மல்கள் உண்டாகின்றன.

பெரும வீச்சுக்கு

$$\cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t = \pm 1$$

$$\text{அல்லது} \quad 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t = k\pi$$

$$k = 0, 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots$$

அதாவது

$$\pi (n_1 - n_2) t = k \pi$$

$$\therefore \quad t = \frac{k}{n_1 - n_2}$$

$k = 0, 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots\ldots$ என பதிலீடு செய்தால் பெரும வீச்சுகள் உண்டாகும் காலங்கள் தெரியவரும்.

$$\therefore \quad t = 0, \frac{1}{n_1 - n_2}, \frac{2}{n_1 - n_2}, \frac{3}{n_1 - n_2}, \ldots\ldots$$

இரு அடுத்தடுத்துள்ள பெரும வீச்சுக்கு இடைப்பட்ட

$$\text{காலம்} = \frac{2}{n_1 - n_2} - \frac{1}{n_1 - n_2} = \frac{1}{n_1 - n_2}$$

∴ ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் பெருமச் வீச்சின் எண்ணிக்கை

$$= \frac{1}{1/n_1 - n_2} = n_1 - n_2$$

∴ ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் விம்மல்கள்

$$\delta = (n_1 - n_2)$$

இதேபோன்று ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் சிறும வீச்சின் எண்ணிக்கை $= n_1 - n_2$ எனக் காண்பிக்கலாம். இங்கும் ஒரு விநாடியில் உண்டாக்கும் விம்மல்களின்

$$\text{எண்ணிக்கை } \delta = n_1 - n_2$$

அதிர்வெண் தெரிந்த ஓர் இசைக்கவை கொண்டு மற்றொரு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணை இரு இசைக்கவைகளும் உண்டாக்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கையால் கணக்கிடலாம். ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் விம்மல்கள் $\delta = n_1 \sim n_2$.

n_1 என்பது தெரிந்த அதிர்வெண் n_2 என்பது காணவேண்டிய அதிர்வெண் எனக் கொள்வோம். இந்த இரு இசைக்கவைகளையும் ஒரே நேரத்தில் ஒலித்து ஒரு விநாடியில் உண்டாகும் துடிப்புகளைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது n_1 பெரியதா அல்லது n_2 பெரியதா என்பது நமக்குத் தெரியாது. அதனால் n_2 அதிர்வெண் கொண்ட இசைக்கவையின் கரமொன்றில் சிறிதளவு மெழுகை வைத்து முன் சொன்னவாறு விம்மல்களைக் கணக்கிட வேண்டும். விம்மல்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்து இருந்தால் n_2, n_1-ஐ விடக் குறைவானது.

$$\therefore \delta = n_1 - n_2$$

எனவே $n_2 = n_1 - \delta$

மாறாக விம்மல்கள் குறைந்திருந்தால் n_2, n_1-ஐவிட அதிகமானது.

$$\therefore \delta = n_2 - n_1$$

எனவே $n_2 = n_1 + \delta$

இவ்வாறு விம்மல்களின் அளவுகளைக் கொண்டு இசைக்கவையொன்றின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) A, B என்ற இரு இசைக்கவைகள் ஒருங்கே ஒலிக்கும் போது ஒரு விஞடியில் 6 விம்மல்கள் கேட்கின்றன. சோஞ மீட்டர் கம்பியில் அவைகள் முறையே 50 செ.மீ. 51·2 செ.மீ. நீளங் களில் ஒருங்கியைவு கொண்டுள்ளன என்ருல் இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்களைக் காண்க:

இசைக்கவை A யின் அதிர்வெண்ணை n எனக் கொண்டால் இசைக்கவை B யின் அதிர்வெண் $= n-6$.

$$\therefore n \times 50 = (n-6) \times 51{\cdot}2$$

($nl =$ மாறிலி என்ற முதல் விதிப்படி)

$$\therefore 50\,n = 51{\cdot}2n - 307{\cdot}2$$

$$\therefore 51{\cdot}2\,n - 50\,n = 307{\cdot}2$$

$$1{\cdot}2\,n = 307{\cdot}2$$

$$n = \frac{307{\cdot}2}{1{\cdot}2} = 256$$

எனவே இசைக்கவை Aயின் அதிர்வெண் $= 256$. இசைக்கவை B யின் அதிர்வெண் $= 250$.

(2) 100 செ.மீ. 101 செ.மீ. அலை நீளங்களை உடைய இரு ஒலி அலைகள் ஒரு விஞடியில் 3·3 விம்மல்களை உண்டாக்குகின்றன; ஒலியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

ஒலியின் திசை வேகத்தை V எனக் கொண்டால் அவ்வொலி அலைகளின் அதிர்வெண்கள் முறையே,

$$\frac{V}{100}, \frac{V}{101} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே

$$\frac{V}{100} - \frac{V}{101} = 3{\cdot}3$$

$$\frac{(101-100)\,V}{10100} = 3{\cdot}3$$

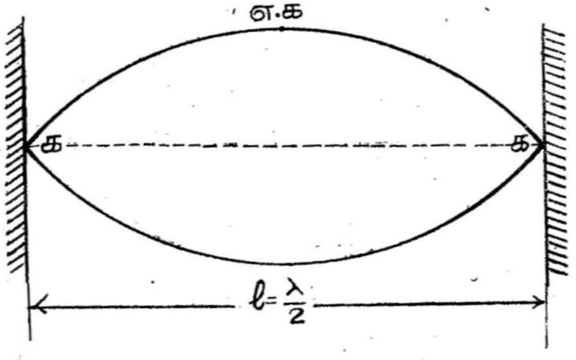
$$\therefore V = \frac{33330}{1} \text{ செ.மீ./விஞடி}$$

$$V = 333{\cdot}3 \text{ மீ./விஞடி.}$$

4. கம்பிகளின் அதிர்வு

(Vibration of Strings)

T என்னும் இழு விசையுடன் இரு புள்ளிகளுக்கிடையே இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் கம்பி வழியாகச் செல்லும் குறுக்கு அலைகளின் திசைவேகம் $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$ என்று பொதுவாக நிரூபிக்கலாம். இங்கு T என்பது கம்பியின் இழு விசையையும் (Tension), m என்பது கம்பியின் நீள அடர்த்தியையும் (Linear Density) குறிக்கின்றன. ஒரு சென்டிமீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியின்



படம் 154

நிறை அதன் நீள அடர்த்தி எனப்படும். ஒரு முனையிலிருந்து கம்பியின் மறுமுனையை அடைகின்ற குறுக்கு அலைகள் மறு முனையில் எதிரொளிக்கப்படுவதால் நிலை அலைகளை (Stationary Waves) உண்டாக்குகின்றன. இவ்வாறு உண்டாக்கக்கூடிய அலைகளில் மிக எளிய வகையானது இரு முனைகளிலும் இரு

கணுக்களையும் நடுவில் ஒரு எதிர்க்கணுவையும் கொண்ட ஒற்றை வளைய நிலை அலையாகும். (Single loop Stationary wave).

அதிர்வுறும் கம்பியின் நீளம் l செ. மீ. என்றால் அதன் அலை நீளம் $\lambda = 2l$ ஆகும்.

எனவே கம்பியின் அதிர்வு எண் $= n = \frac{V}{\lambda}$

$$\therefore n = \frac{\sqrt{\frac{T}{m}}}{\lambda} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\left(\because V = \sqrt{\frac{T}{m}}\right)$$

இங்கு n என்பது அடிப்படை அதிர்வு எண் (Fundamental Frequency) எனப்படும்.

இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பி ஒன்றை மீட்டி ஒற்றை வளைய நிலை அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும்போது நிகழும் அதிர்வு பற்றிய குறுக்கு அலை விதிகளை 1636ஆம் ஆண்டு மெர்சேன் என்ற மேதை பின்வருமாறு கூறினார்.

(1) இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் கம்பியின் இழுவிசையும் நீள அடர்த்தியும் மாறாமலிருக்கையில் கம்பியின் அடிப்படை அதிர்வு எண் அதன் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும்.

$$n \propto 1/l$$

(2) கம்பியின் நீளமும், நீள அடர்த்தியும் மாறாமலிருக்கையில் அதன் அதிர்வு எண் இழுவிசையின் இருமடி மூலத்திற்கு (Square Root) நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

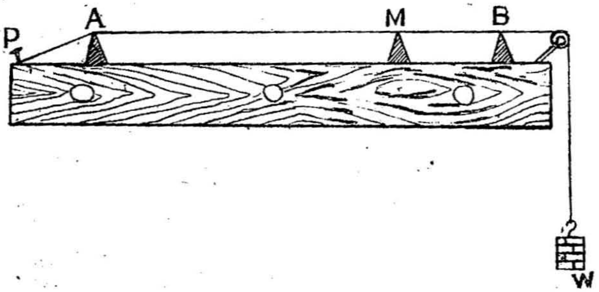
$$n \propto \sqrt{T}$$

(3) கம்பியின் இழுவிசையும், நீளமும் மாறாமலிருக்கையில் அதன் அதிர்வு எண் நீள அடர்த்தியின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

சோனாமீட்டர்

சோனாமீட்டரைக் கொண்டு கம்பியின் குறுக்கதிர்வு விதிகளை மெய்ப்பிக்கலாம். சோனாமீட்டர் என்பது மரத்தாலான ஓர் ஒலிப் பெட்டி. இம் மரப்பெட்டிமீது ஏறக்குறைய ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் *A*, *B* என்ற இரு கத்திமுனைக் கட்டைகள் உள்ளன. இவற்றின் மீது செல்லுமாறு மெல்லிய சீரான கம்பி ஒன்று இழுத்துக் கட்டப்



படம் 155. சோனாமீட்டர்

பட்டிருக்கிறது. கம்பியின் ஒரு முனை *P* என்ற முனையுடன் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. மறுமுனை ஒரு கப்பி வழியே சென்று எடை தாங்கி (Weight hanger) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. *M* என்ற நகர்த்தக்கூடிய கத்தி முனைக் கட்டையொன்று *A*-க்கும் *B*-க்கும் இடையில் உள்ளது. எடை தாங்கியில் எடைக் கற்களை வைத்துத் தேவையான இழுவிசையைப் பெறலாம்.

சோனாமீட்டர் கம்பியை இசைக்கவையின் அதிர்வுடன் இசையச் செய்தல்: தெரிந்த எடைக் கற்களை எடை தாங்கியில் வைத்துக் கம்பித் தொய்வு இன்றி இருக்கும்படிச் செய்யவேண்டும். பின்னர் இசைக்கவையை ஒலித்து அதன் தண்டு சோனாமீட்டர் பெட்டியின்மீது படுமாறு வைக்க ஒலி உண்டாகும். இப்போது *M*, *B* ஆகிய இரு கத்தி முனைக் கட்டைகளுக்கிடையே உள்ள கம்பியை விரலால் இசைக்க அது அதிர்ந்து ஒலியெழுப்பும். இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் கம்பியின் அதிர்வு எண்ணுக்குக் கிட்டத்தட்ட சமமாக இருக்கும்போது விம்மல்கள் (Beats) கேட்கும்; அதனால் நகரும் கத்தி முனை *M*ஐ முன்னோ பின்னோ நகர்த்தி *MB* யின் நீளத்தை மாற்றி விம்மல்கள் கேட்குமாறு செய்யவேண்டும். பின்னர் *M*ஐ சிறிது நகர்த்தினால் விம்மல்கள் மறைந்து அவ்விரு அதிர்வுகளும் ஒத்து அமைவதால் பெரும் ஒலி உண்டாகும். இப்போது *MB* கம்பியின் நடுவில் ஒரு காகித ஏறி (Paper Rider) ஒன்றை வைத்தால் அது தூக்கி எறியப்படுவதைக் காணலாம்.

இது கம்பி ஒத்திசையும்போது உண்டாகும் பெருமவீச்சால் ஏற்படுகிறது.

கம்பியின் குறுக்கதிர்வு விதிகளைச் சோனுமீட்டர் கொண்டு மெய்ப்பித்தல் :

(1) **முதல்விதி :** T, m ஆகியவை மாருமலிருக்கும்போது $n \propto \frac{1}{l}$ ஆகும். அதாவது nl = மாறிலியாகும்.

சோனுமீட்டரில் உள்ள கம்பியையும், எடை தாங்கியிலுள்ள எடையையும் மாற்ருமல் n_1 n_2 n_3......போன்ற அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட இசைக்கவைகளுடன் ஒத்திசைந்து பெரும் ஒலி எழுப்பும் l_1, l_2, l_3 ...... என்ற கம்பிப் பகுதிகளின் நீளத்தைக் கண்டறியவேண்டும். இவற்றைக்கொண்டு,

$n_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3$ = மாறிலி என்பதை அறியலாம்.

மேலே கண்ட காட்சிப் பதிவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தலாம்.

வரிசை எண்	அதிர்வு எண் (n)	ஒத்திசைவு நீளம் (l)	$n \times l$

கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் மாருமலிருக்கும். இதிலிருந்து முதல் விதி மெய்யாவது புலப்படும்.

(2) **இரண்டாம் விதி :** l, m ஆகியவை மாருமலிருக்கும் போது $n \propto \sqrt{T}$ (அல்லது) $n^2 \propto T$

அதாவது n^2/T = மாறியாகும்.

T_1 என்ற இழுவிசையின்கீழ் N என்னும் அதிர்வு எண் கொண்ட இசைக்கவையை ஒலித்து ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளத்தை l_1 எனக் கொள்வோம். இதைக்கொண்டு இதே இழுவிசையின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண் n_1-ஐக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$Nl_1 = n_1 \times 100$$

$\therefore T_1$ இழுவிசையின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண் $n_1 = \dfrac{Nl_1}{100}$.

இதுபோன்று T_2 என்ற இழுவிசையின்கீழ் அதே N அதிர்வு எண் உடைய இசைக்கவையுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளம் l_2–ஐக் கண்டறியலாம். இதிலிருந்து முன்போல T_2 இழுவிசையின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண் n_2-ஐக் கணக்கிடலாம். இப்போது $Nl_2 = n_2 \times 100$.

$\therefore T_2$ இழுவிசையின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண் $n_2 = \dfrac{Nl_2}{100}$.

இதுபோன்ற $T_3, T_4, \ldots$ போன்ற இழுவிசைகளின்கீழ் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண்கள் $n_3\ n_4 \ldots\ldots$ ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

அதாவது

$$n_3 = \frac{Nl_3}{100}$$

$$n_4 = \frac{Nl_4}{100} \quad \ldots\ldots$$

இரண்டாம் விதிப்படி நாம் $\dfrac{n_2}{T}$ = மாறிலி என்று மெய்ப்பிக்க வேண்டும். அதாவது,

$$\frac{n_1^2}{T_1} = \frac{n_2^2}{T_2} = \frac{n_3^2}{T_4} = \ldots = \text{மாறிலி}$$

n , n_2, n_3 ...... இவைகளின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{N^2\, l_1^2}{100^2\, T_1} = \frac{N^2\, l_2^2}{100^2\, T_2} = \frac{N^2\, l_3^2}{100^2\, T_3} = \ldots = \text{மாறிலியாகும்.}$$

$$\therefore \frac{l_1^2}{T_1} = \frac{l_2^2}{T_2} = \frac{l_3^2}{T_3} = \ldots = \text{மாறிலியாகும்.}$$

$$\therefore \frac{l^2}{T} = \text{மாறிலி அல்லது } \frac{\sqrt{T}}{l} = \text{மாறிலி.}$$

வரிசை எண்	இழுவிசை (T)	ஒத்திசைவு நீளம் (l)	$\frac{\sqrt{T}}{l}$

அட்டவணையின் கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் ஓர் மாறிலி. இவ்வாறாக இரண்டாம் விதி மறைமுகமாக மெய்ப்பிக்கப்படுகிறது.

(3) மூன்றும் விதி: l, T ஆகியவை மாறாமலிருக்கும்போது,

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}} \text{ (அல்லது) } n^2 m = \text{ மாறிலி.}$$

m_1, m_2, m_3......என்னும் பல நீள அடர்த்திகள் கொண்ட சீரான கம்பிகளை T என்னும் ஒரே இழுவிசைக்கு உட்படுத்த அப்போது இசைக்கவையின் N என்ற அதிர்வு எண்ணுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதிகளின் நீளங்களை l_1, l_2, l_3...எனக் கண்டறியவேண்டும். இவற்றிலிருந்து 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

நீள அடர்த்தி m_1 கொண்ட கம்பிக்கு

$$N l_1 = n_1 \times 100$$

$$\therefore n_1 = \frac{N l_1}{100}$$

நீள அடர்த்தி m_2 கொண்ட கம்பிக்கு

$$N l_2 = n_2 \times 100$$

$$\therefore n_2 = \frac{N l_2}{100}$$

இவ்வாறே,

$$n_3 = \frac{N l_3}{100}$$

$$n_4 = \frac{Nl_4}{100} \quad \text{... எனக்}$$

கணக்கிடலாம், இப்போது மூன்றும் விதிப்படி,

$$n^2 m = \text{மாறிலியாகும்.}$$

அதாவது,

$n_1^2 m_1 = n_2^2 m_2 = n_3^2 m_3$ .... மாறிலி; n_1, n_2, n_3 .. இவைகளின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{N^2 l_1^2 m_1}{100^2} = \frac{N^2 l_2^2 m_2}{100^2} = \frac{N^2 l_3^2 m_3}{100^2} = \text{...... மாறிலியாகும்.}$$

$$\therefore \; l_1^2 m_1 = l_2^2 m_2 = l_3^2 m_3 = \text{.........} = \text{மாறிலி}$$

$$\therefore \; l^2 m = \text{மாறிலி அல்லது } l\sqrt{m} = \text{மாறிலி.}$$

வரிசை எண்	நீள அடர்த்தி (m)	கம்பியின் ஒத்திசைவு நீளம் (l)	$l \sqrt{m}$

கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் மாறுமலிருப்பதிலிருந்து மூன்றுவது விதி மறைமுகமாக மெய்ப்பிக்கப்படுகிறது.

இரு இசைக்கவைகளின் அதிர்வு எண்களை ஒப்பிடுதல் : சோனுமீட்டர் கம்பியை ஒரே இழுவிசைக்கு உட்படுத்தி n_1, n_2 என்னும் அதிர்வு எண்களைக்கொண்ட இரு இசைக்கவைகளுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப்பகுதியின் நீளங்களாகிய l_1, l_2 ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். பின்னர் முதல் விதியின்படி,

$$n_1 l_1 = n_2 l_2 \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \; \frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_2} \text{ ஆகும்.}$$

இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் காணல்: மாருத இழுவிசை ஒன்றுக்குக் கம்பியை உட்படுத்தி n_1, n_2, n_3 ... என்ற அதிர்வு எண் தெரிந்த பல இசைக்கவைகளுடன் ஒத்திசையும் நீளங்கள் l_1, l_2, l_3..... ஆகியவற்றைக் கண்டறியவேண்டும். பிறகு முதல் விதியின்படி nl = ஓர் மாறிலியாகும்.

அதாவது,

$$m_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3 \ldots\ldots = K \text{ ஆகும்.}$$

K-யின் சராசரி மதிப்பினை இவ்வாறு கண்டபிறகு அதிர்வு எண் காணவேண்டிய இசைக்கவையை ஒலித்து அதே இழுவிசையின்கீழ் உண்டாகும் ஒத்திசையும் நீளம் L-ஐக் காண வேண்டும். இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் N என்ருல் முதல் விதியின்படி,

$$NL = K \text{ ஆகும்.}$$

K-யின் மதிப்பை நாம் ஏற்கனவே கண்டுள்ளோம்.

$$\therefore N = \frac{K}{L} \text{ ஆகும்.}$$

அதிர்வு எண் தெரிந்த இசைக்கவையின் துணையின்றி ஓர் இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் காணல்: இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணை N எனக் கொள்வோம். கம்பியை T_1, T_2, T_3 ...ஆகிய இழுவிசைகளுக்குட்படுத்தி இவ் விசைக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளங்களை l_1, l_2, l_3 ...... எனக் காணவேண்டும். இவற்றைக் கொண்டு $\frac{\sqrt{T}}{l}$ -ன் சராசரி மதிப்பினை அறியலாம். கம்பியின் நீள அடர்த்தியை m எனக் கண்டறியலாம். கொடுக்கப்பட்ட கம்பியைத் தராசில் நிறுத்து வரும் நிறையைக் கம்பியின் நீளத்தால் வகுக்க நீள அடர்த்தி கிடைக்கும். (அல்லது) கம்பியின் விட்டத்தைத் *திருகுமானிகொண்டு துல்லியமாகக் கண்டு, அதிலிருந்து ஆரத்தைக் கணக்கிடவேண்டும். கம்பியின் அடர்த்தி d எனக்கொண்டால் நீள அடர்த்தி $m = \pi r^2 d$.

பின்னர்,

$$N = \frac{1}{2\sqrt{m}} \left(\frac{\sqrt{T}}{l}\right)$$ என்ற பொதுச் சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்தி N-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

தெரியாத எடை, ஒப்படர்த்தி இவைகளைக் காணல்: அதிர்வு எண் தெரிந்த இசைக்கவை ஒன்றைப் பயன்படுத்தி கம்பி T_1, T_2, T_3.....ஆகிய இழுவிசைகளுக்கு உட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் போது இசைக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளங்களாகிய l_1, l_2, l_3 ...ஆகியவற்றைக் காணவேண்டும்.

இவற்றிலிருந்து,

$$\frac{l_1^2}{T_1} = \frac{l_2^2}{T_2} = \frac{l_3^2}{T_3} = \ldots K \text{ எனத் தெரியவரும்.}$$

பின்னர் கல்போன்ற தெரியாத எடை ஒன்றைத் தாங்கியின் இடத்தில் கட்டித் தொங்கவிட்டு அதே இசைக்கவையைப் பயன்படுத்தி அதனுடன் ஒத்திசையும் கம்பிப் பகுதியின் நீளமாகிய L-ஐக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். தெரியாத எடையை W எனக் கொண்டால் இப்போது,

$$\frac{L^2}{W} = K \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore W = \frac{L^2}{K}$$

பொருளின் நிறையை மட்டும் காணவேண்டுமானல்,

$$Mg = \frac{L^2}{K}$$

$$\therefore \text{ நிறை } M = \frac{L^2}{Kg}$$

பொருளின் ஒப்படர்த்தி: பொருள் காற்றில் உள்ளபோது ஒத்திசையும் நீளத்தை L_1 எனக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

$$\therefore \text{ காற்றில் பொருளின் எடை } W_1 = \frac{L_1^2}{K}$$

K-என்பது மேற்குறித்த சோதனையில் கண்ட மதிப்பாகும்.

பிறகு பொருளை நீரில் தங்குதடையின்றி மூழ்கச்செய்து அப்போது இசைக்கவையுடன் ஒத்திசையும் நீளத்தை L_2 எனக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

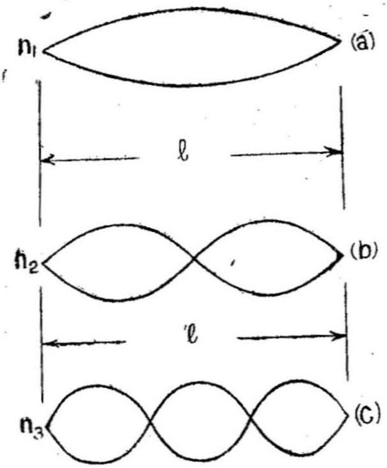
$$\text{நீரில் பொருளின் எடை } W_2 = \frac{L_2^2}{K}$$

ஆர்க்கிமிடீசின் தத்துவப்படி பொருளின் ஒப்படர்த்தி

$$= \frac{\text{காற்றில் பொருளின் எடை}}{\text{பொருள் நீரில் இழந்த எடை}}$$

$$= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$= \frac{L_1^2}{L_1^2 - L_2^2}$$



படம் 156. அடுக்குச் சுரங்கள்

அடுக்குச் சுரங்கள் (Harmonics) : படம் *a*-ல் காட்டியவாறு *l* செ.மீ. நீளமுள்ள ஒரு கம்பி ஒரு கணு இடைப்பகுதியாக (Segment) அதிர்வுறும்போது,

$$\lambda_1 = 2l.$$

$$\therefore \text{ அதிர்வு எண் } = n_1 = \frac{v}{\lambda_1}$$

$$n_1 = \frac{\sqrt{T/m}}{2l}$$

$$n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

அதே இழுப்புவிசையின் கீழ் அதே நீளமுள்ள கம்பிப் படம் (*b*), (*c*)………ஆகியவற்றில் காட்டியவாறு இரண்டு மூன்று கணு இடைப்பகுதிகளாக அதிர்வுறுமானல்,

$$\lambda_2 = l;\ \lambda_3 = \frac{2l}{3}$$

$$\therefore\ n_2 = \frac{1}{\lambda_2}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore\ n_2 = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

இதேபோன்று,

$$n_3 = \frac{1}{\lambda_3}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$n_3 = \frac{3}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore\ n_2 = 2n_1,\ n_3 = 3n_1$$

அதாவது

$$n_1 : n_2 : n_3 = 1 : 2 : 3.$$

ஓர் இசைக்கருவி பல அதிர்வுகளை எழுப்புகிறது. அது அவ்வாறு எழுப்பும் அதிர்வுகளில் மிகக்குறைந்த அதிர்வு எண் கொண்ட ஒலி அடிப்படை அதிர்வு எண் எனப்படும். மற்ற அதிர்வு எண்கள் கொண்ட ஒலிகளெல்லாம் மேற்சுரங்கள் (Over tones) எனப்படும். அடிப்படை அதிர்வுதான் எல்லாவற்றையும் விட ஓங்கி ஒலிக்கும். அடிப்படை அதிர்வு எண்ணின் முழு எண் பெருக்குத் தொகையாக அமைந்த மேற்சுரங்கள் அடுக்குச்சுரங்கள் (Harmonics) என்றழைக்கப்படுகின்றன. ஓர் இசை ஒலியில் மேற்சுரங்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவ் விசையின் தரமும் (quality) அதிகரிக்கும். இசைக் கவையை ஒலிப்பதால் உண்டாகும் அதிர்வுகளில் மேற்சுரங்கள் கிடையா.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 24 செ.மீ. நீளமும், 5 கிலோகிராம் எடை இழுவிசையும், 8 மி.கிராம் நீள அடர்த்தியும் கொண்ட கம்பியின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$l = 24$ செ.மீ.

$T = 5 \times 1000 \times 980$

$m = 8$ மி.கிராம்

$= 0{\cdot}008$ கிராம்

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2 \times 24}\sqrt{\frac{5 \times 1000 \times 980}{0{\cdot}008}}$$

$$= 515{\cdot}7$$

$\therefore$ கம்பியின் அதிர்வெண் $= 515{\cdot}7$

2. சோனமீட்டரில் 40 செ.மீ. நீளமும், 0·35 மி.மீ. தடிமனும் கொண்ட கம்பியின் அடிப்படை அதிர்வெண் 256. கம்பியின் இழுவிசை 3·2 கிலோகிராம் எடையாக இருந்தால் கம்பிப் பொருளின் அடர்த்தியைக் கணக்கிடுக. கம்பிப் பொருளின் அடர்த்தியை d எனக்கொள்வோம்.

$$\text{அடிப்படை அதிர்வெண் } (n) = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore \quad n^2 = \frac{1}{4l^2} \cdot \frac{T}{m}$$

இங்கு $l = 40$ செ.மீ.

$T = 3{\cdot}2 \times 1000 \times 980$

$m = \pi r^2 d$

$= \pi \times (0{\cdot}0175)^2 \times d$

$n = 256$

$$\therefore (256)^2 = \frac{1 \times 3{\cdot}2 \times 1000 \times 980}{4 \times 40^2 \times \pi \times (0{\cdot}0175)^2 \times d}$$

$$\therefore d = \frac{1 \times 3{\cdot}2 \times 1000 \times 980}{(256)^2 \times 4 \times 40^2 \times \pi \times (0{\cdot}0175)^2}$$

$$= 7{\cdot}77 / C{\cdot}C$$

3. ஒரே நீளமும், ஒரே பருப்பொருளாலும் ஆன இரு கம்பிகள் ஒரே விசையினுல் இழுக்கப்படுகிறது. அவைகளின் அதிர்வெண்கள் 3 : 4 என்ற விகிதத்தில் இருந்தால் அக் கம்பிகளின் தடிமன்களை ஒப்பிடு.

பொதுவாக,

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2 d}}$$

r என்பது கம்பியின் ஆரமாகும்.

d என்பது கம்பிப்பொருளின் அடர்த்தியாகும்.

கணக்கில் கொடுத்துள்ளபடி

$$3n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r_1^2 d}} \quad \ldots(1)$$

$$4n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r_2^2 d}} \quad \ldots(2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{3n}{4n} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r_1^2 d}} \times \frac{2l}{1}\sqrt{\frac{\pi r_2^2 d}{T}}$$

$$\therefore \frac{3}{4} = \frac{r_2}{r_1}$$

எனவே $\frac{r_1}{r_2} = \frac{4}{3}$.

அதாவது கம்பிகளின் ஆரங்கள் 4 : 3 விகிதத்தில் உள்ளன. ஆரங்களின் விகிதம் 4 : 3 என்றுல் தடிமன்களின் விகிதம் = 4 : 3.

4. ஒரே பருப்பொருளும், விட்டமும் கொண்ட இரு கம்பிகள் ஒருங்கியைவில் உள்ளன. 4, 6 கி.கி. எடை இழுவிசைகளினுல் அவைகள் உட்படுத்தப்பட்டுள்ளன. முதல் கம்பியின் நீளம் 20 செ.மீ. என்றுல் இரண்டாவது கம்பியின் நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

$l_1 = 20$ செ.மீ.

$l_2 = ?$

$T_1 = 4$ கி.கி. எடை

$T_2 = 6$ கி.கி. எடை

$$\frac{T}{l^2} = \text{மாறிலி}$$

அதாவது

$$\frac{T_1}{l_1^2} = \frac{T^2}{l_2^2}$$

$$\therefore = \frac{4 \times 1000 \times 980}{20 \times 20} = \frac{6 \times 1000 \times 980}{l_2^2}$$

$$\therefore = l_2^2 = \frac{6 \times 20 \times 20}{4}$$

$$l_2 = 10\sqrt{6}$$

$$= 24{\cdot}5 \text{ செ.மீ.}$$

5. 200 செ.மீ. நீளமும், 10 கிராம் நிறையும் உள்ள ஓர் எஃகுக் கம்பி 10^6 டைன் விசைக்குட்படுத்தப்பட்டுள்ளது. கம்பியின் வழியே செல்லும் குறுக்கலையின் வேகத்தையும், இரண்டாவது அடுக்குச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணையும் கணக்கிடுக.

$$\text{கம்பியின் நீள அடர்த்தி} = \frac{\text{கம்பியின் நிறை}}{\text{கம்பியின் நீளம்.}}$$

$$= \frac{10}{200} = 0{\cdot}05 \text{ கிராம்/செ.மீ.}$$

இழுவிசை $T = 10^6$ டைன்

$$\text{குறுக்கலையின் திசைவேகம் } V = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{10^6}{0\ 05}}$$

$= 4472$ செ.மீ./விநாடி

இரண்டாவது அடுக்குச் சுரத்தின் அதிர்வெண் $\Big\} = 2 \times \dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{T}{m}}$

$$= \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \frac{1}{200}\sqrt{\frac{10^6}{0{\cdot}05}}$$

$$= 22{\cdot}36.$$

5. காற்றில் ஒலியின் திசைவேகம்

(Velocity of Sound in air)

பொதுவாக ஒரு வாயுப்பொருளில் ஒலியின்திசைவேகம் $V = \sqrt{\frac{E}{d}}$ ஆகும். இங்கு E என்பது அவ் வாயுவின் மீட்சி மாறிலி (Elastic Constant). d என்பது வாயுவின் அடர்த்தியாகும்.

நியூட்டனின் வாய்ப்பாடு (Newton's formula) ஒலி வாயுப் பொருளில் பரவிச் செல்லும்போது உண்டாகின்ற இறுக்கங்கள், நெகிழ்ச்சிகளால் ஏற்படும் அழுத்த பரும மாறுதல்கள் மாரு வெப்ப நிலையில் ஏற்படுவதாக நியூட்டன் கருதினர். அதனால் இங்கு கூறப்படும் மீட்சி மாறிலி மாரு வெப்பநிலை மீட்சி மாறிலி (Isothermal Elasticity) எனப்படும்.

அதன்படி,

$E = P$ என்பது தெரியவரும்

$$\therefore V = \sqrt{\frac{P}{d}}$$

இங்கு P, d என்பவை முறையே ஊடகத்தின் அழுத்தம், அடர்த்தி இவைகளைக் குறிக்கின்றன.

இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தநிலை ஆகியவற்றில் (அதாவது N. T. P. யில்) காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

P = 76 செ.மீ பாதரச உயரத்திற்குச் சமம்.

$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 980$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

$d = 0{\cdot}001293$ கிராம்/க. செ. மீ.

$$V = \sqrt{\frac{P}{d}} = \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 980}{0{\cdot}001293}}$$

$= 279{\cdot}9$ மீட்டர்/வினாடி.

ஆனால் இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தநிலை ஆகியவற்றில் காற்றில் ஒலியின் வேகம் சுமார் 330மீ/வினாடி. ஆகையால் நியூட்டனின் வாய்பாடு சரியா என்பது சந்தேகமாயிற்று.

லாப்ளாசின் திருத்தம் (Laplace's Correction): பின்வந்த லாப்ளாசு, நியூட்டன் கூறிய கருத்துக்களை ஏற்றுக் கொள்ள வில்லை. வாயுப் பொருளில் ஒலி பரவிச் செல்லும்போது மாறி மாறி உண்டாகின்ற இறுக்கங்களும், நெகிழ்ச்சிகளும் மிக மிக விரைவாக நிகழ்வதால், அப்பொழுது ஏற்படுகின்ற பரும-அழுத்த மாறுதல்கள் மாறா வெப்ப நிலையில் நிகழ முடியாதென்று வாதிட்டார். அதனால் மேலே கூறப்படும் மீட்சிமாறிலி வெப்பம் மாற்றீடற்ற மீட்சிமாறிலி (Adiabatic Elasticity) ஆகும் என்று லாப்ளாசு அறிவித்தார். அதன்படி $E = \gamma P$ என ஆயிற்று. இங்கு γ என்பது வாயுப் பொருளின் இரு வெப்ப எண்களுக்கிடையே உள்ள தகவையும், P என்பது அப்போதைய அழுத்த நிலையையும் குறிக்கின்றன.

$$\therefore \quad V = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}} \quad \text{ஆகும்.}$$

இப்பொழுது இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தநிலை ஆகிய வற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் காற்றில் கணக்கிடுவோம்.

$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 980$ டைன்கள்/க.செ. மீ.

$d = 0{\cdot}001293$ கிராம்/க. செ. மீ.

$\gamma = 1{\cdot}4.$

எனவே,

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$$

$$V = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 980}{0{\cdot}001293}}$$

$= 331{\cdot}1$ மீட்டர்/வினாடி

இந்த மதிப்பு பரிசோதனையின்மூலம் கிடைத்த 330 மீ / வினடி. என்ற மதிப்புக்கு ஒட்டியிருப்பதால் லாப்ளாசின் வாய்பாடே சரியாகும்.

காற்றின் அழுத்தம், வெப்பநிலை போன்றவற்றைப் பொருத்து ஒலியின் வேகத்தில் உண்டாகும் மாறுதல்கள்:

(1) **அழுத்தம் :** பாயில் (Boyle) விதியின்படி வெப்பநிலை மாருதிருக்கும்போது P/d யின் மதிப்பும் மாருது. $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$ என்ற வாய்பாட்டில், மாரு வெப்பநிலையில், P/dயின் மதிப்பு மாருது. γ என்பது வாயுப்பொருளின் இரு வெப்பஎண்களுக் கிடையேயுள்ள தகவு. இது ஒரு மாறிலியாகும்.

எனவே வெப்பநிலை மாருதபோது காற்றின் அழுத்தம் மட்டும் மாறுவதால் ஒலியின் வேகம் எவ்வித மாறுதலும் அடைவது இல்லை.

(2) வெப்பநிலை

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$$

வாயுவின் நிறையலகு பருமனை (Specific Volume) அதாவது ஒரு கிராம் வாயுவின் நிறையை v என்று வைத்துக் கொண்டால்.

$$d = \frac{1}{v}$$

$$\therefore V = \sqrt{\gamma P v}$$

ஆனல் இலட்சிய வாயு சமன்பாட்டின்படி,

$$Pv = RT \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore V = \sqrt{\gamma R T}$$

இங்கு γ, R என்பவைகள் மாறிலிகளாகும். T-என்பது சார்பிலா வெப்பநிலையாகும்.

$$\therefore V \propto \sqrt{T}$$

எனவே ஒலியின் வேகம் வாயுப்பொருளுக்கு அப்போதுள்ள சார்பிலா வெப்பநிலையின் இருமடி மூலத்திற்கு (Squareroot) நேர் விகிதத்திலிருக்கும். வெப்பநிலை அதிகரித்தால் ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கும். வெப்பநிலை குறைந்தால் ஒலியின் வேகம் குறையும் என அறிகிறோம்.

வெப்பநிலை $1°C$ உயரும்போது ஒலியின் திசைவேகத்தில் உண்டாகும் அதிகரிப்பினைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$0°C$ வெப்பநிலையில் ஒலியின் திசைவேகத்தை Vo எனவும், $t°C$ வெப்பநிலையில் ஒலியின் திசைவேகத்தை V எனவும் கொள்வோம்.

முன் சொன்ன சமன்பாட்டின்படி

$$V \propto \sqrt{T}$$

இதேபோல் $0°C$ வெப்பநிலையில்

$$Vo \propto \sqrt{To}$$

$$\frac{V}{Vo} = \sqrt{\frac{T}{To}}$$

$$\frac{V}{Vo} = \sqrt{\frac{273+o}{273}}$$

$$= \sqrt{1 + t/273}$$

$$= (1 + t/273)\ 1/2$$

$$= \left(1 + \frac{1}{2} \times \frac{t}{273}\right) \text{ பைனுமியல் கொள்கையின்படி}$$

$$= (1 + t/546)$$

$$\therefore \quad V = Vo\,(1 + t/546)$$

$$V = Vo + \frac{Vo\,t}{546}$$

$$\therefore V - V_0 = \frac{V_0 \cdot t}{546}$$

எனவே,

$t = 1°C$ ஆகும்போது

$$V - V_0 = \frac{332 \times 1}{546}$$

$$= 0{\cdot}6 \text{ மீட்டர்/விநாடி}$$

எனவே வெப்பநிலை $1°C$ உயரும்போது திசைவேகம் விநாடிக்கு 0·6 மீட்டர் அதிகரிக்கும்.

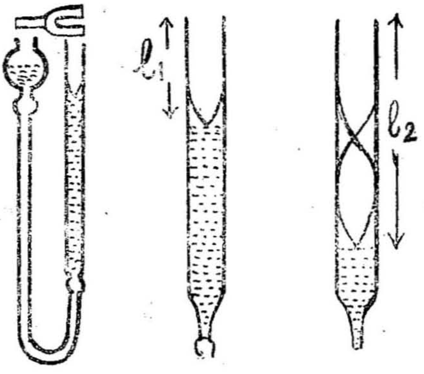
(3) ஈரப்பத நிலை (Humidity): காற்றில் உள்ள ஈரத்தால் காற்றின் அடர்த்தி குறைகிறது. காற்றில் நீராவி அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதன் ஈரம் அதிகரிக்கும். நீராவியின் அடர்த்தி காற்றின் அடர்த்தியில் 0·62 மடங்கே ஆகும். எனவே நீராவி அதிகமானால் காற்றின் அடர்த்தி குறைகிறது. இதனால் ஈரமுள்ள காற்றில் ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கிறது.

(4) வீசுங்காற்று (Wind) : ஒலி செல்லும் திசையில் காற்று வீசினால் ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கும். எதிர்த்திசையில் வீசினால் ஒலியின்வேகம் குறையும். சில வாயு ஊடகங்களில் ஒலி கொண்டுள்ள திசைவேகங்களின் மதிப்புகள் கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

எண்	ஊடகம்	வேகம் (மீட்டர்/விநாடி)
1.	காற்று	331·6
2.	ஹைட்ரஜன்	1286
3.	ஆக்ஸிஜன்	317
4.	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	262·

காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை நிர்ணயித்தல்: சுமார் ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள கண்ணாடிக் குழாய் செங்குத்தாக ஒரு மரத் தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். குழாயின் கீழ்முனை ஒரு

கொள்கலனோடு ரப்பர் குழாயின் வழியாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் கொள்கலன் மேலும் கீழுமாய் நகர்த்தக்கூடியதாகவும், தேவையான இடத்தில் பொருந்தக்கூடியதாகவும் அமைக்கப் பெற்றிருக்கும். கொள்கலனில் நீரை நிரப்பி அதை மேலும், கீழும் நகர்த்துவதால் குழாயில் உள்ள நீர்மட்டத்தை உயர்த்தவோ, தாழ்த்தவோ செய்யலாம். குழாய்க்கு அருகில் செங்குத்தாக ஓர் அளவுகோல் தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.



படம் 157.

ஆரம்பத்தில் குழாயில் நீர்மட்டம் மேலே இருக்கட்டும். ஓர் இசைக்கவையை இயக்கி அதனைக் குழாயின் வாயருகில் காட்டி, கொள்கலனை மெதுவாகக் கீழே இறக்க, ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையை நீர்மட்டம் அடையுங்கால் ஒலி மிக்க முழக்கத்துடன் கேட்கும். இந்நிலையில் காற்றுத் தம்பத்தின் அதிர்வெண்ணும், இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றுகிவிடுவதால் பெரும ஒலி கேட்கிறது. இதையே நாம் ஒத்தியைவு நிலை என்கிறோம். இப்போது உள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் நீளத்தை l_1 என அளந்து கொள்ளவேண்டும். காற்றுத் தம்பத்தின் வழியே உண்டாகும் நிலை அலையின் அலைநீளம் λ எனில்

$$l_1 + e = \frac{\lambda}{4} \qquad \ldots (1)$$

இங்கு e என்பது முனைத்திருத்தமாகும்.

பின்னர் கொள்கலனை மேலும் கீழ் நோக்கி இறக்கி மற்றுமோர் இடத்தில் பெரும ஒலி கேட்கும்போது அப்போதுள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் நீளத்தை l_2 என அளந்துகொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது,

$$l_2 + e = \frac{3\lambda}{4} \qquad \ldots \quad (2)$$

இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணை n எனக் கொள்வோம்.

முதல் சமன்பாட்டை இரண்டாம் சமன்பாட்டிலிருந்து கழிக்க

$l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$ ஆகும்.

$$\therefore \quad \lambda = 2\,(l_2 - l_1)$$

ஒலியின் வேகத்தை V எனக் கொண்டால்

$V =$ அதிர்வெண் $\times$ அலை நீளம்

$$\therefore \quad V = n \times 2\,(l_2 - l_1)$$

$$\therefore \quad V = 2n\,(l_2 - l_1) \qquad \ldots \quad (3)$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை அறையின் வெப்பநிலையில் கணக்கிடலாம். $t^\circ C$ என்பது அறையின் வெப்பநிலையானால் $V = V_0 \sqrt{\frac{273 + t}{273}}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து $0^\circ C$ ல் ஒலியின் வேகம் V_0-ஐ கணக்கிட முடியும்.

முதல் சமன்பாட்டை, 3-ஆல் பெருக்க,

$$3l_1 + 3e = \frac{3\lambda}{4}$$

இச் சமன்பாட்டையும் 2-ம் சமன்பாட்டையும் ஒப்பிட

$$3l_1 + 3e = l_2 + e.$$

$$\therefore \quad 2e = l_2 - 3l^1$$

$$\therefore \; e = \frac{l_2 - 3l^1}{2} \qquad \ldots \quad (4)$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து முனைத்திருத்தத்தைக் கணக்கிடலாம்.

வெவ்வேறு அதிர்வெண் கொண்ட இசைக்கவைகளைக் கொண்டு சோதனையை பலமுறை திரும்பச் செய்து சராசரி ஒலியின் வேகத்தை அறை வெப்பநிலையில் மூன்றும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) வெப்பநிலை 15° செ.கி. ஆகவும், அழுத்தம் 780 மி.மீ. ஆகவும் இருக்கும்பொழுது ஒலியின் திசைவேகம் 341 மீ./விநாடி. வெப்பநிலை 25° செ.கி. ஆகவும் அழுத்தம் 740 மி.மீ. ஆகவும் இருக்கும்பொழுது ஒலியின் திசைவேகத்தைக் காண்க;

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

இங்கு

$$T_1 = 273 + 15 = 288.$$

$$T_2 = 273 + 25 = 298.$$

$V_1 = 341$ மீ./விநாடி

$$\therefore \frac{341}{V_2} = \sqrt{\frac{288}{298}}$$

$$\therefore V_2 = 341 \sqrt{\frac{298}{288}}$$

$= 346{\cdot}8$ மீ./விநாடி

(2) இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தத்திலும் (*N.T.P.*) 200° செ.கி. யிலும் ஒலியின் திசைவேகத்தை ஹைட்ரஜனில் கணக்கிடுக : (ஹைட்ரஜனுக்கு வெப்ப எண்களின் தகவு = 1·4 *N.T.P*-யில் ஹைட்ரஜனின் அடர்த்தி = 0·00009 கிராம்/ க.செ.மீ.

*N. T. P.*யில் ஹைட்ரஜன் வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகம் (V) $= \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}$

$$\gamma = 1{\cdot}4$$

$$P = 76 \times 981 \times 13{\cdot}6$$

$$d = 0{\cdot}00009$$

$$\therefore V = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 76 \times 981 \times 13{\cdot}6}{0{\cdot}00009}}$$

$$= 1256 \text{ மீ./விநாடி}$$

200° செ. கி. வெப்ப நிலையில் ஒலியின் திசைவேகம் (V) $= Vo \times \sqrt{\frac{T}{To}}$

$$= 1256 \times \sqrt{\frac{473}{273}}$$

$$= 1653 \text{ மீட்டர்/விநாடி}$$

வினாக்கள்

1. கோளமானி பற்றியும் வளைவு ஆரத்தை அளக்க அது பயன்படும் விதத்தையும் விளக்குக. அதற்குரிய சமன்பாட்டை நிறுவுக.

கோளமானியின் கால்கள் மூன்றும் 4 செ.மீ. பக்கமுடைய ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் மூலைகளில் அமைகின்றன. ஒரு கோள வடிவப் பரப்பில் அக் கருவியை வைக்கும்பொழுது அது 0·329 மி.மீ. அளவினைக் காட்டுகிறது. கருவியில் தொடக்கப் பிழை இல்லையெனில் கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

2. பொது பௌதிகத் தராசைப் படத்துடன் விளக்குக. ஒரு பொருளின் நிறையை மில்லிகிராம் துல்லியமாக நிர்ணயிப்பதை விவரி. தராசின் உணர் நுட்பம், நிலைப்பாடு இவைகளைப் பற்றி குறிப்பு வரைக.

3. ஒரு நல்ல தராசின் பண்புகள் யாவை? அவைகளை விளக்குக.

புயங்கள் சமமாக இல்லாத ஒரு தராசின் இரு தட்டுகளிலும் ஒரு பொருளை மாற்றி வைத்து நிறுக்கும்பொழுது அதன் நிறை முறையே 158 கிராம், 158·25 கிராம் ஆகும். தராசுப் புயங்களின் தகவைக் கணக்கிடுக.

4. அடிப்படை அலகுகள், வழி அலகுகள் இவைகளை விளக்குக. அடிப்படை அலகுகளில் ஏதாவதொன்றைத் துல்லியமாக அளக்கும் முறையை விவரி.

5. உராய்வு விதிகளை எழுதுக.

நிலை உராய்வு, உராய்வு எண், உராய்வுக் கோணம் ஆகிய வற்றை விளக்குக.

6. மீட்சியல் குணங்களை வரையறுத்து அவைகளை விளக்குக.

இழுவை முறையில் யங் குணகத்தைக் காண ஒரு சோதனையை விவரி.

2 மீட்டர் நீளமும், 0·5மி.மீ. விட்டமும் கொண்ட ஓர் இரும்புக் கம்பியின் ஒரு முனை நிலையாகப் பிணைக்கப்பட்டு மறு முனை 2 கிலோ கிராம் எடையைத் தாங்கினுல் இரும்புக் கம்பியின் நீட்சி எவ்வளவு?

இரும்பின் யங் குணகம் $= 2 \times 10^{12}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.

7. தகைவு, திரிவு, யங் குணகம்—வரையறு. செய்முறை மூலம் இரும்புக் கம்பியொன்றின் யங் குணகத்தைக் கணக்கிடுவது எவ்வாறு?

3 மீட்டர் நீளமும், 1மி.மீ. விட்டமும் கொண்ட இரும்புக் கம்பி 2மி.மீ. நீட்சியடைந்தால் செய்யப்பட்ட செயலைக் கணக்கிடுக.

இரும்புக் கம்பியின் யங் குணகம்$=2\times 10^{12}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ

8. மிதவை விதிகளை எழுதுக. ஒரு மிதக்கும் பொருளின் உறுதிச் சமநிலையைப் படத்துடன் விளக்கமாக விவரி.

9. உயர் வெற்றிட உண்டாக்குதலையும், அதனை அளக்கும் முறையினையும் விவரி.

10. குறைந்த அழுத்தத்தை உண்டாக்கும் சுழல் பம்பு, விரவல் பம்பு ஆகியவற்றின் அமைப்பு, வேலை செய்யும் விதம் இவற்றை விளக்குக.

குறைந்த அழுத்தத்தை மெக்லியாடு அளவி கொண்டு அளக்கும் முறையை விவரி.

11. நுண்புழை இயல் என்றல் என்ன? அதன் விளைவிற்கு எடுத்துக்காட்டுகள் தருக.

நுண்புழை ஏற்றம் மூலம் ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைச் சோதனை கொண்டு காணுதல் எங்ஙனம்?

நுண்குழாய் ஒன்றின் ஆரம் 5மி.மீ! அது 0·8 கிராம்/க.செ.மீ. அடர்த்தியுள்ள திரவத்தினுள் அமிழ்த்தப்பட்டால் நுண்புழை ஏற்றம் எவ்வளவு என்பதைக் கணக்கிடுக.

12. பரப்பு இழுவிசையை வரையறுக்கவும் மூலக்கூறுக் கொள்கை அடிப்படையில் அது எவ்வாறு விளக்கப்படுகிறது?

ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை, இரு திரவங்களுக்கிடையே யுள்ள பரப்பிடை இழுவிசை ஆகியவற்றைக் காண துளி எடை முறையை விளக்கு.

13. பரப்பாற்றல், சேர்கோணம் ஆகியவற்றினை வரையறுத்துக் கூறுக. முறுக்குத் தராசை விவரித்து அதனால் ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் காணும் முறையை விவரி.

பரப்பு இழுவிசை T உள்ள சோப்புக் கரைசலின் r ஆரமுள்ள ஒரு குமிழியில் உட்புற அழுத்தம் வெளிப்புற அழுத்தத்தை விட $\frac{4T}{r}$ மடங்கு மிகுதியாயிருக்குமெனக் காட்டுக.

14. ஒரு திரவத்தின் பாகியல் எண்ணை வரையறுக்கவும். அதன் பரிமானங்கள் யாவை?

ஒரு திரவத்தின் பாகியில் எண் காணும் சோதனை ஒன்றை விளக்கு.

15. ஒரு திரவத்தின் பாகியல் என்றால் என்ன? விவரி.

ஒரு நுண்குழாய் வழியாக ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் ஒரு திரவம் செலுத்தப்படுகிறது. திரவம் பாய்ந்து செல்லும் வீதம் எவ்விதம் கீழ் கண்டவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது?

(i) அழுத்தம்.

(ii) நுண் குழாயின் நீளம்.

(iii) நுண்குழாயின் ஆரம்.

இவ் விதிகளை நிருபிக்கும் ஒரு சோதனையை விவரி.

16. ஆஸ்வால்டு பாகியில் மானியை விவரிக்க.

இரு திரவங்களின் பாகியல் எண்களை ஒப்பிட அது எவ்வாறு பயன்படுகிறது?

ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் இரு நுண்குழாய்கள் வழியாக நீர்ச் செலுத்தப்படுகிறது. நுண்குழாய் Aயின் விட்டம் நுண் குழாய் B யின் விட்டத்தைப் போல் இரு மடங்கும், Aயின் நீளம் B யின் நீளத்தைவிட நான்கு மடங்கும் கொண்டிருந்தால் நுண் குழாய்களில் திரவம் செல்லும் வீதத்தை ஒப்பிடுக.

17. பாகியல் முறையில் இரு நுண்குழாய்களின் ஆரத்தை ஒப்பிடும் சோதனையை விளக்குக.

உராய்வுக் காப்புப் பொருள்கள் பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

18. பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியின் அமைப்பையும் அதைக் கொண்டு வெப்பநிலை அளக்கும் முறையையும் விளக்குக.

19. வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியின் மூலம் வெப்ப நிலையை எவ்வாறு அளக்கலாம் என்று காட்டுக. இந்த வெப்ப நிலைமானியை மின் தடைவெப்பநிலைமானியுடன் ஒப்பிட்டு அவைகளின் நற்பண்புகளையும், குறைபாடுகளையும் எடுத்துக் கூறுக.

20. படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியின் அமைப்பை விளக்கி அதன் மூலம் வெப்பநிலையை அளக்கும் முறையை விவரித்துக் கூறுக.

21. ஒரு பொருளின் 'நீள் விரிவெண்' என்பது என்ன? அதனைக் காண்பதற்கான நுட்பமான சோதனை ஒன்றினை விவரிக்கவும்.

22. கடிகாரங்களின் ஊசல்களிலும், சமனச் சக்கரங்களிலும் வெப்பநிலை விளைவுகளுக்கு ஈடுசெய்யும் முறைகளைப் பற்றி விவரித்துக் கூறுக.

23. ஒரு திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண், தனிப் பெருக்க எண் என்பவைகளை வரையறுத்து இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பை நிறுவுக. ரெனால்ட் முறையில் பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக. நீரின் ஒரு சீரற்ற பெருக்கத்தைப் பற்றி சிறு குறிப்பு வரைக.

24. கலவை முறையில் ஒரு பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்க. அதில் குளிர்வுத் திருத்தத்தைக் காண்பதற்கான முறைகளை விளக்குக.

25. நியூட்டனின் குளிர்வு நெறியீட்டை எழுதுக. இவ் விதியை எங்ஙனம் நிரூபிப்பாய்? இவ் விதியைப் பயன்படுத்தி எவ்வாறு வெப்பக்கதிர் வீசலுக்கான திருத்தத்தை தோராயமாகப் பெறுவாய்?

ஒரு பொருள் 95°Cலிருந்து 90°Cக்கு 30 விநாடிகளிலும், 55°Cலிருந்து 50°க்கு 70 விநாடிகளிலும் குளிர்விக்கப்படுகிறது. நியூட்டனின் குளிர்வு விதியைப் பயன்படுத்தி சுற்றுப்புறத்தின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடுக.

26. ஒரு வாயு ஏன் இரு வெப்ப எண்களைப் பெற்றிருக்கிறது என்பதை விளக்குக.

பருமன் மாறாத போது வாயுவின் வெப்ப எண்ணைக் காணும் சோதனையை விவரி.

27. ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களை வரையறுத்து அவற்றிற் கிடையேயுள்ள தொடர்பினை நிறுவுக.

ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் மாறா வெப்ப எண்ணை காண்பதற் கான சோதனையை விவரிக்கவும்.

28. பெர்த்தலாட் கருவியின் அமைப்பையும் அதன் உதவி யால் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணும் முறையையும் விளக்குக.

29. நீராவியின் முழு வெப்பம் என்பது யாது? ரெனோல்ட் முறையில் அதைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்கவும்.

30. ஒப்பு ஈரப்பதனை வரையறுத்து அதனைக் காண்பதற்கான ஒரு சோதனையை விளக்குக.

31. வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கையில் உள்ள எடுகோள் கள் யாவை? இக் கொள்கையைக்கொண்டு ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவையைப் பெறுக.

மேலும் பாயில் விதி, சார்லஸ் விதி, அவகேட்ரோ விதி ஆகியவைகளையும் நிறுவுக.

32. இயக்கவியற் கொள்கையிலிருந்து வான்டர்வால்ஸ் சமன்பாட்டைப் பெறுக.

இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்புகளைக் காண்பதெப்படி என்று கூறுக.

இந்தச் சமன்பாடு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடில் ஏற்படக்கூடிய மாறுதல்களை எவ்வளவு தூரம் உண்மையாகக் காட்டுகிறது என்பதனை ஆராய்க.

33. வான்டர்வால்ஸ் மாறிலிகளுக்கும், மாறுநிலை மாறிலிகளுக்குமிடையேயுள்ள தொடர்புகளைக் காண்க.

34. வாயுக்களின் இறுக்கத்தைப்பற்றிய அமகாட்டின் சோதனையை விவரிக்க. அமகாட்டின் சோதனை முடிவுகளை வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாடு எவ்வாறு விளக்குகிறது என்பதைக் காட்டுக.

35. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு பற்றி ஆண்ட்ருஸ் செய்த சோதனையை விளக்குக. வாயுக்களின் திரவமாக்கத்தைப்பற்றி ஆண்ட்ருஸ் சோதனையிலிருந்து தெரிந்து கொள்வதென்ன?

36. நுண்துளைவாய்ச் சோதனையை விளக்கிக் கூறுக. இத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் காற்றின் திரவமாக்கத்தைப்பற்றி விவரித்துக் கூறுக.

37. வாயுக்களைத் திரவமாக்குதல் பற்றிய பொதுத் தத்துவங்களை எழுதுக.

38. சிறு குறிப்புக்கள் வரைக.

(i) ஜூல் - தாம்ஸன் விளைவு.

(ii) குளிர் பதனேற்றம்.

(iii) புரட்டு வெப்பநிலை.

(iv) காற்றுக் கட்டுப்பாடு.

39. மாரு வெப்பநிலை நிகழ்வுக்கும், வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டை எடுத்துக் கூறுக.

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வில் அழுத்தத்திற்கும் பருமனுக்குமிடையே உள்ள தொடர்பினை நிறுவுக.

27°*C* வெப்பநிலை, 76 செ.மீ. (பாதரசம்) அழுத்தத்தில் உள்ள ஓர் இலட்சிய வாயு அதன் பருமன் பாதியாக மாற வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் இறுக்கப்படுகிறது. வாயுவின் முடிவு வெப்பநிலை, அழுத்தம் இவைகளைக் கணக்கிடுக. $C_P = 0{\cdot}42$. $C_V = 0{\cdot}30$ கலோரி/கிராம்/°*C*.

40. மேயர் தொடர்பினை நிறுவுக.

க்லெமென்ட் டிசார்மிங் முறைப்படி வெப்ப எண்களின் தகவைக் காணும் சோதனையை விளக்குக. இம் முறையில் உள்ள குறைபாடுகள் என்ன?

41. வெப்பமாற்றீடற்ற மாறுதலில் ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவைகளுக்கான சமன்பாட்டைத் தருவிக்க.

மாரு வெப்பநிலை மாறுதல், வெப்ப மாற்றீடற்ற மாறுதல் இவைகளில் ஒரு வாயு பெருக்கம் அடையும்போது வாயுவினால் செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிடுக.

42. வெப்ப இயக்க ஆற்றல் இணைமாற்றைக் காண்பதற்குரிய நுட்பமான சோதனை ஒன்றை விளக்குக.

43. வெப்ப இயக்கவியலின் முதல், இரண்டாம் விதிகளை விளக்குக.

வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதி வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையினையைத் தருவதுபற்றி விவரிக்கவும். இந்த அளவீட்டு முறை இலட்சிய வாயு அளவீட்டு முறையுடன் எவ்வாறு தொடர்புற்றிருக்கிறது?

44. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியைக் கூறுக.

கார்னோ சுற்றை விவரித்துக் கார்னோ தேற்றத்தை மெய்ப்பிக்கவும்.

45. வெப்பக்கடத்துத் திறன், வெப்ப விரவுத்திறன் இவற்றை வரையறுத்து இவற்றிற்கிடையேயுள்ள வேறுபாட்டையும், தொடர்பையும் கூறுக.

ஓர் எளிதில் கடத்திப் பொருளின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்கவும்.

46. ஒரு அரிதிற்கடத்தியின் வெப்பக்கடத்துத் திறனைக் கணக்கிடும் லீ வட்டு சோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

100 ச.செ.மீ. பரப்பும், 1·5 மி.மீ. தடிமனும் உள்ள ஒரு கண்ணாடிப் பாத்திரத்தினுள் முழுவதும் பனிக்கட்டி வைக்கப்பட்டு அக் கண்ணாடிப் பாத்திரம் 105°C வெப்பநிலையில் உள்ள கொள்

கலத்தினுள் வைக்கப்படுகிறது. 1 நிமிடத்தில் உருகும் பனிக்கட்டி எவ்வளவு?

கண்ணுடியின் வெப்பக் கடத்துத் திறன் $K = 0{\cdot}0025$.

47. ஸ்டீஃபன் விதியைக் கூறவும். அதை மெய்ப்பிப்பதற்கான சோதனையை விவரி. ஸ்டீஃபன் விதியிலிருந்து நியூட்டன் குளிர்வு விதியைப் பெறுக.

48. சூரிய மாறிலியை வரையறுத்துக் கூறுக அதனைக் காண்பதற்கான சோதனை ஒன்றை விளக்குக.

49. சூரிய மாறிலியைப் பயன்படுத்தி சூரியனின் வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக.

50. சிறு குறிப்பு வரைக.

(i) பைரோ மீட்டர்கள்.

(ii) கரும்பொருள்.

(iii) பைர் ஹீலியா மீட்டர்.

51. நிலை அலைகள் என்றால் என்ன? அவை எவ்வாறு தோன்றுகின்றன. நிலை அலைகளை உண்டாக்கி காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு சோதனை மூலம் கணக்கிடுவது?

52. விம்மல்கள் எப்பொழுது உண்டாகின்றன. தக்க அறிமுறையுடன் விளக்குக.

20 செ.மீ. நீளமுள்ள சோனுமீட்டர் கம்பியொன்று அதிர்வெண் 384 கொண்ட ஓர் இசைக்கவையுடன் ஒருங்கியைவு கொண்டுள்ளது.

இப்போது கம்பியின் இழுவிசை மாருமல் நீளத்தில் 2 மி.மீ. மாற்றம் உண்டானல் 1 விநாடியில் உண்டாகும் விம்மல்களைக் கணக்கிடுக.

53. ஒத்திசைவு என்பதனை விளக்குக. இதனைப் பயன்படுத்தி $N.T.P.$-ல் ஒலியின் வேகத்தைக் காற்றில் எவ்வாறு காண்பது என்பதனை சோதனை கொண்டு விளக்குக.

54. கம்பிகளின் குறுக்கதிர்வு விதிகளை எழுதுக. அவைகளைச் சோனுமீட்டர் கொண்டு எவ்வாறு நிருபிப்பாய் என்பதனை விளக்குக.

55. காற்றில் ஒலியின் வேகத்திற்குரிய நியூட்டன்-லாப்ளாசு வாய்பாடுகளைத் தருவிக்க. அழுத்தம், வெப்பநிலை, ஈரம் இவைகளில் உண்டாகும் மாறுதல்களால் ஒலியின் வேகம் எங்ஙனம் மாறுபடுகிறது என்பதனை விளக்குக. இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தம் இவைகளில் ஆக்ஸிஜனின் அடர்த்தி $= 1{\cdot}429$ கிராம்/லிட்டர். வெப்ப எண்களின் தகவு $= 1{\cdot}4$. இவைகளிலிருந்து ஆக்ஸிஜனில் ஒலியின் திசை வேகத்தை $N.T.P$-யில் கணக்கிடுக.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute — தனி, சார்பிலா
Absolute expansion — சார்பிலா விரிவு
Absolute Temperature — தனி வெப்பநிலை
Absolute Thermodynamical Scale of Temperature — சார்பிலா வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை
Absolute Zero — தனிச்சுழி
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorptive Power — உட்கவர் திறன்
Acceleration — முடுக்கம்
Accuracy — துல்லியம்
Adiabatic change — வெப்பமாற்றீடற்ற மாறுதல்
Agate — அகேட்
Air conditioning — காற்றுக் கட்டுப்பாடு
Angle of friction — உராய்வு கோணம்
Angle of contact — சேர்கோணம், தொடுகோணம்
Angular momentum — கோண உந்தம்
Antinodes — எதிர்க்கணுக்கள்
Anomalous expansion — ஒரு சீரற்ற பெருக்கம்
Apparatus — ஆய்கருவி
Apparent expansion — தோற்றப் பெருக்கம்
Areal expansion — பரப்புப் பெருக்கம்
Audibility — செவியுணர்வு
Axis — அச்சு

B

Bad conductor — அரிதில் கடத்தி
Balancing column — சரியீட்டுத் தம்பம்
Barometer — பாரமானி
Bath — தொட்டி
Battery — மின்கல அடுக்கு
Beam — தூலம்
Beats — விம்மல்கள்
Boiling — கொதித்தல்
Boiling Point — கொதிநிலை
Boiling by Bumping — எகிறிக் கொதித்தல்
Bolometer — போலாமீட்டர்
Boltzmann's constant — போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி
Boyle's law — பாயில் விதி
Boyle Temperature — பாயில் வெப்பநிலை
Black body — கரும்பொருள்
Brush — தூரிகை
Bubble — குமிழ்
Bulk modulus — பருமக் குணகம்

C

Calibration — அளவீடு செய்தல்
Caloric Theory — கேலரிக் கொள்கை
Calorie — கேலரி, கலோரி
Calorimeter — கேலரி மீட்டர், கலோரி மீட்டர்
Calorimetry — வெப்ப அளவியல்
Capillarity — நுண்புழை இயல்
Capillary rise — நுண்புழை ஏற்றம்
Capillary tube — நுண்குழாய்
Capillary depression — நுண்புழை இறக்கம்
Cascade Process — படிப்படி செய்முறை
Centigrade scale — சென்டிகிரேடு அளவை
Centre of Buoyancy — மிதவைத்திற மையம்
Centre of curvature — வளைவு மையம்
Centre of gravity — ஈர்ப்புதானம்
Charles' law — சார்லஸ் விதி
Coaxial — ஓரச்சான

Coefficient of absolute expansion	—	தனிப்பெருக்க எண்
Coefficient of apparent expansion	—	தோற்றப் பெருக்க எண்
Coefficient of cubical expansion	—	பருமப்பெருக்க எண்
Coefficient of Linear expansion	—	நீட்சிப்பெருக்க எண், நீள் விரிவெண்
Coefficient of Viscosity	—	பாகியல் எண்
Cold Junction	—	குளிர் சந்தி
Compensated Balance wheel	—	ஈடு செய்த சமனச் சக்கரம்
Compensated Pendulam	—	ஈட்டு ஊசல்
Compression	—	இறுக்கம், நெருக்கம்
Cone of friction	—	உராய்வு கூம்பு
Constant Pressure air Thermometer	—	அழுத்தம்மாறு காற்று வெப்ப நிலைமானி
Constant volume air Thermometer	—	பருமன்மாறு வெப்பநிலைமானி
Continuous flow	—	தொடர்பாய் முறை
Contraction	—	சுருக்கம்
Convection	—	சலனம்
Cooling correction	—	குளிர்வு திருத்தம்
Cooling curbe	—	குளிர்வு கோடு
Corresponding states	—	ஒப்புமை நிலைகள்
Counter	—	எண்ணி
Counter poise	—	சமன் செய்
Crest	—	முகடு
Critical constants	—	மாறுநிலை மாறிலிகள்
Critical point	—	மாறுநிலைப் புள்ளி
Critical Pressure	—	மாறுநிலை அழுத்தம்
Critical Temperature	—	மாறுநிலை வெப்பநிலை
Critical Volume	—	மாறுநிலை பருமன்
Crooke's Radiometer	—	க்ருக் ரேடியோமீட்டர்
Cross wire	—	குறுக்குக் கம்பி
Curvature	—	வளைவு
Cycle	—	சுற்று
Cylindrical bubble	—	நீள் உருளைக்குமிழ்

D

Deflection — விலக்கம், விலகல்
Degrees of freedom — உரிமைப் படிகள்
Demagnetisation — காந்த நீக்கம்
Density — அடர்த்தி
Derived Units — வழி அலகுகள்
Dew Point — பனிநிலை
Drop weight method — துளி எடை முறை
Disc — வட்டு
Division — பிரிவு
Dynamic equilibrium — இயக்கச் சமநிலை

E

Ebonite — எபொனைட்
Efficiency — பயனுறு திறன்
Elasticity — மீட்சியியல்
Elastic constant — மீட்சி மாறிலி
Energy — ஆற்றல்
Evaporation — ஆவியாதல்
Exchange Theory — பரிமாற்றுக் கொள்கை
Expansion ratio — பெருக்கத் தகவு
External latent heat — புற உள்ளுறை வெப்பம்
External work — புறவினை, புறவேலை
Eye Piece — கண்ணருகு கருவி

F

Fahrenhiet scale — ஃபாரன்ஹைட் அளவை
Filament — மின்னிழை
Fixed point — திட்டவரை
Forced vibration — திணிப்பு அதிர்வு
Frequency — அதிர்வெண்
Freezing point — உறைநிலை
Freezing mixture — உறை கலவை
Friction — உராய்வு
Fundamental Units — அடிப்படை அலகுகள்
Fusion — உருகுதல்

G

Galvanometer — கால்வனுமீட்டர்
Gas equation — வாயுச் சமன்பாடு
Gaseous state — வாயுநிலை
Good conductor — எளிதில் கடத்தி
Gradient — வாட்டம்
Gram molecule — கிராம் மூலக்கூறு
Gram weight — கிராம் எடை
Graph — வரைப்படம்
Gravitational units — ஈர்ப்பு அலகுகள்

H

Harmonics — அடுக்குச் சுரங்கள்
Head scale — தலைக்கோல்
Heat — வெப்பம்
Heat engine — வெப்ப என்ஜின்
High Vacuum — உயர் வெற்றிடம்
Hoarfrost line — உறைபனிக் கோடு
Horizantal — கிடைமட்டம்
Hot Junction — சுடுசந்தி
Humidity — ஈரப்பதன்
Hygrometer — ஈரமானி
Hypothesis — புனைவுகோள்

I

Ice line — பனிக்கோடு
Ideal gas — இலட்சிய வாயு
Indicater diagram — சுட்டுப் படம்
Inertia — நிலைமம்
Intensity — செறிவு
Interfacial Surface Tension — பரப்பிடை இழுவிசை
Isothermal change — மாரு வெப்பநிலைமாறுதல்

J

Joule effect — ஜுல் விளைவு
Joule kelvin effect — ஜுல் கெல்வின் விளைவு
Junction — சந்தி

K

Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory of gases — வாயுக்களின் இயக்கவியல் கொள்கை
Kundt's tube — குண்ட் குழாய்

L

Latent heat — உள்ளுறை வெப்பம்
Law of cooling — குளிர்வு விதி
Least count — மீச்சிற்றளவை
Levelling screws — சரிமட்ட திருகுகள்
Linear density — நீள அடர்த்தி
Linear expansion — நீட்சிப் பெருக்கம்
Limit — எல்லை
Liquefier — திரவமாக்கி
Longitudinal wave — நெட்டலை
Lower fixed point — கீழ்த்திட்டவரை

M

Mass — நிறை
Mcleoad gauge — மெக்கிலியாடு அளவி
Mean free path — சராசரி மோதலிடைத் தூரம்
Measurement — அளவைகள்
Mechanical equivalent of heat — வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணை மாற்று
Medium — ஊடகம்
Melting point — உருகுநிலை
Method of cooling — குளிர்வு முறை

Mica — மைக்கா
Micrometer — மைக்ரா மீட்டர்
Minute — நிமிடம்
Moment of Inertia — நிலைமத் திருப்புத் திறன்
Momentum — உந்தம்
Meta centric height — மிதவைக் காப்பு உயரம்

N

Natural vibration — இயல்பு அதிர்வு
Nodes — கணுக்கள்
Normal temperature and Pressure — இயல்பான வெப்பநிலை அழுத்தம்

O

Observation — காட்சிப் பதிவுகள்
Obtic lever — ஒளியியல் நெம்புகோல்
Over tones — மேற்சுரங்கள்

P

Paper rider — காகித ஏறி
Perfect gas — இலட்சிய வாயு
Physical balance — பௌதிகத் தராசு
Piston — உந்துதண்டு
Pitch scale — புரிக்கோல்
Plastic — பிளாஸ்டிக்
Platinum resistance thermometer — பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானி
Plimsoll line — பிலிம்சால் கோடு
Plumb line — தூக்குநூற் குண்டு
Porous plug — நுண்துளை அடைப்பு
Potentiometer — மின்னழுத்தமானி
Postulate — எடுகோள்
Power — திறன்

Pressure-Coefficient — அழுத்தப் பெருக்க எண்
Pressure Head — அழுத்த முகடு
Progressive Waves — முன்னேறு அலைகள்
Pyhnometer — பைக்னுமீட்டர்
Pyrheliometer — பைர்ஹீலியா மீட்டர்
Pyrometer — பைரோமீட்டர்

Q

Quality — பண்பு
Quantity — அளவு
Quartz Crystal — குவார்ட்ஸ் படிகம்

R

Radiant energy — வீசுக்கதிர் ஆற்றல்
Radiation — வீசுகதிர், கதிர்வீச்சு
Radius of curvature — வளைவு ஆரம்
Rarefaction — நெகிழ்வு
Reaumer scale — ராய்மர் அளவீடு முறை
Refrigeration — குளிர்பதனேற்றம்
Refrigerator — குளிர்பதனப் பெட்டி
Regulator — சீரமைப்பான்
Relative motion — ஒப்பு இயக்கம்
Resting point — நிலைத்தானம்
Reservoir — சேமக்கலம்
Resonance — ஒத்ததிர்வு, ஒத்திசை அதிர்வு
Reverse carnot cycle — எதிர்முகக் கார்னோ சுற்று
Reversible engine — நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள எஞ்சின்
Regidity modulus — விறைப்புக் குணகம்

S

Saturated Vapour Pressure — தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம்
Segment — கணு இடைப்பகுதி
Sensibility — நுட்பத் திறன்
Sensitiveness — உணர்வு நுட்பம்

Simple Harmonic Motion — சீரிசை இயக்கம்
Shearing stress — தொடுவியல் தகைவு
Shearing strain — சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு
Sink — வெப்ப ஏற்பி
Solar constant — சூரிய மாறிலி
Sonometer — சோனாமீட்டர்
Source — வெப்ப மூலம்
Specific Heat — வெப்ப எண்
Specific Resistance — மின்தடை எண்
Spherometer — கோளமானி
Stability — நிலைப்பாடு
Stationary waves — நிலை அலைகள்
Steam line — நீராவிக் கோடு
Stirrups — கொக்கிகள்
Stop clock — நிறுத்துக் கடிகாரம்
Strain — திரிபு
Stream lined motion — வரிச்சீரியக்கம்
Stress — தகைவு
Substitute — பதிலீடு செய்
Surface Tension — பரப்பு இழுவிசை

T

Telescope — தொலை நோக்கி
Temperature Coefficient of Resistance — மின்தடை வெப்பநிலை எண்
Temperature gradient — வெப்பநிலை வாட்டம்
Tension — இழுவிசை
Thermal capacity — வெப்ப ஏற்புத் திறன்
Thermal conductivity — வெப்பக்கடத்துத் திறன்
Thermal diffusivity — வெப்ப விரவுத் திறன்
Thermal couple — வெப்பமின் இரட்டை
Thermodynamics — வெப்ப இயக்கவியல்
Thermo electric thermometer — வெப்பமின் வெப்பநிலைமானி
Thermo pile — வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு
Total Heat — முழு வெப்பம்
Transverse waves — குறுக்கு அலைகள்

Triple point — மும்மைப் புள்ளி
Trough — அகடு
Truth — மெய்ம்மை
Tuning fork — இசைக்கவை
Turbulent motion — கொந்தளிப்பு ஓட்டம்
Turning point — திரும்புதானம்

U

Universal gas constant — பொதுவாயு மாறிலி
Unsaturated Vapour — தெவிட்டா ஆவி
Upper fixed point — மேல்திட்ட வரை

V

Vacuum — வெற்றிடம்
Valve — வால்வு
Vanderwaal's equation — வாண்டர்வால் சமன்பாடு
Vapourisation — ஆவியாக்கம்
Velocity gradient — திசைவேக வாட்டம்
Viscosity — பாகியல்
Viscometer — பாகியல்மானி
Volume — பருமன், கன அளவு
Volume coefficient — பருமப்பெருக்க எண்

W

Water equivalent — வெப்பச்சம நீர்
Wave length — அலைநீளம்
Weight hanger — எடைதாங்கி
Weight thermometer — எடை வெப்பநிலைமானி
Wheatstone bridge — வீட்ஸ்டன் சுற்றமைப்பு
Work — செயல், வேலை
Working substance — செயல்படுபொருள்

Y

Young's Modulus — யங் குணகம்

Z

Zero — சுழி
Zero error — தொடக்கப் பிழை
Zero reading — தொடக்க அளவீடு